

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

Борзяк Ольга Сергіївна



УДК 691.3: 666.9

**РЕГУЛЮВАННЯ КОНТАКТНИХ ВЗАЄМОДІЙ
ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ В УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ
МАТЕРІАЛІВ НА ОСНОВІ МІНЕРАЛЬНИХ В'ЯЖУЧИХ**

05.23.05 – будівельні матеріали та вироби

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Харків – 2021

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано в Українському державному університеті залізничного транспорту Міністерства освіти і науки України.

Науковий консультант: доктор технічних наук, професор
Плугін Андрій Аркадійович,
Український державний університет
залізничного транспорту,
завідувач кафедри залізничної колії
і транспортних споруд

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Саницький Мирослав Андрійович,
Національний університет «Львівська політехніка»,
завідувач кафедри будівельного виробництва;

доктор технічних наук, професор
Сердюк Василь Романович,
Вінницький національний технічний університет,
професор кафедри будівництва, міського
господарства та архітектури;

доктор технічних наук, професор
Шинкевич Олена Святославівна,
Одеська державна академія будівництва і архітектури,
професор кафедри процесів та апаратів
в технології будівельних матеріалів.

Захист дисертації відбудеться «16» грудня 2021 р. о 12:00 на засіданні спеціалізованої вченої ради Д64.820.02 Українського державного університету залізничного транспорту за адресою: 61001, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Українського державного університету залізничного транспорту за адресою: 61001, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7 і на сайті <http://kart.edu.ua>.

Автореферат розісланий «15» листопада 2021 р.

Учений секретар
Спеціалізованої вченої ради
кандидат технічних наук, доцент



О. В. Лобяк

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. В умовах сучасного рівня обсягів промислового виробництва об'єми агресивних газоподібних, рідких і твердих речовин, електричних струмів витоку, блукаючих струмів і відповідних потенціалів, які впливають на будівельні конструкції та споруди, залишаються суттєвими. Необхідність опиратись цим впливам і визначає напрями вдосконалення будівельних матеріалів.

Переважаюча кількість сучасних будівельних матеріалів – це матеріали, що виготовляються на основі мінеральних в'язучих – силікатних, алюмінатних, сульфатних сполук, бетони та конструкції з них, силікатні вироби, будівельні розчини, сухі суміші, штукатурки тощо. Ці матеріали часто є недостатньо стійкими в різних умовах експлуатації. Так, матеріали на основі силікатів кальцію (портландцемент і його різновиди, вапняно-кремнеземні в'язучі тощо) є водостійкими, стійкими в лужних середовищах, проте нестійкими в умовах впливу кислих середовищ, електричних струмів. Розповсюджені антикорозійні матеріали на основі силікатів натрію і калію є кислотостійкими, проте неводостійкими і нелугостійкими. Матеріали на основі сульфатів кальцію (гіпсові) не є водостійкими. Підвищити кислотостійкість, лугостійкість, водостійкість цих матеріалів звичайно намагаються емпіричним шляхом, проте такий підхід є дуже трудомістким і тривалим і часто має обмежений успіх.

Більш ефективно удосконалення композитів на основі мінеральних в'язучих з метою забезпечення нових властивостей, відповідних складним умовам експлуатації, можливе на основі розвитку та поглиблення теоретичних та експериментальних основ їхнього структуроутворення, формування властивостей і стійкості в цих умовах експлуатації.

Отже, існує **наукова проблема** розвитку положень фізико-хімічної механіки дисперсних систем і матеріалів, які стосуються впливу структури та явищ на границях розподілу фаз на фізико-механічні, гідрофізичні, корозійні властивості композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих. Вирішення цієї проблеми дасть можливість вирішити **актуальне практичне завдання** – визначити шляхи більш ефективного керування структурою та властивостями, підвищення корозійної стійкості, водостійкості, непроникності та інших показників експлуатаційних властивостей композиційних матеріалів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертацію виконано на кафедрі будівельних матеріалів, конструкцій та споруд Українського державного університету залізничного транспорту в рамках держбюджетних і госпдоговірних науково-дослідних робіт (НДР), які проводяться згідно з галузевими програмами Міністерства освіти і науки України, АТ «Укрзалізниця», а також планами залізниць України:

- НДР, що фінансувалися за кошти державного бюджету «Розвиток теоретичних та експериментальних основ визначення складів водонепроникного тріщиностійкого бетону для конструкцій і споруд залізниць» (№ ДР 0113U001030); «Теоретичні та експериментальні дослідження впливу електрокорозійного і напружено-деформованого стану залізничних споруд і колії на їх надійність і безпеку руху» (№ ДР 0113U001031); «Розвиток теоретичних

основ виникнення та запобігання порушень стійкості земляних та інших споруд» (№ ДР 0115U000276); «Розробка складів неорганічних матеріалів будівельного призначення на основі композицій системи $\text{CaO} - \text{SiO}_2 - \text{H}_2\text{O}$ та $\text{CaO} - \text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{H}_2\text{O}$ » (№ ДР 0115U000277); «Теоретичні основи отримання нових корозійностійких композиційних силікатних матеріалів з високими гідрофізичними характеристиками. Фізико-хімічні та колоїдно-хімічні основи водостійкості та корозійної стійкості композиційних силікатних матеріалів» (№ ДР 0115U000279); «Теоретичні та експериментальні основи визначення, прогнозування та забезпечення несучої здатності та довговічності транспортних споруд в умовах агресивних впливів» (№ ДР 0119U100295); «Розвиток теоретичних основ і експериментальна перевірка нових ефективних способів підвищення несучої здатності та водонепроникності ґрунтів земляного полотна залізниць» (№ ДР 0120U102065);

- госпдоговірні НДР «Проведення досліджень і розробка рекомендацій із захисту та підсилення конструкцій пасажирських платформ на електрифікованих ділянках залізниць»; «Розробка конструктивно-технологічних рішень з усунення тріщин у стінах будівель станційних комплексів та рекомендацій з їх впровадження при експлуатації» (№ ДР 0112U006827); «Проведення досліджень з використання хімічних добавок для зниження енергоємності виробництва залізобетонних шпал і розробка ДСТУ на шпали залізобетонні попередньо напружені для залізниць колії 1520 і 1435 мм»; «Дослідження впливу конструктивно-технологічних та експлуатаційних факторів на утворення тріщин у шпалах типу СБЗ» тощо.

Автор була виконавцем і відповідальним виконавцем зазначених робіт.

Мета роботи – розвиток наукових основ управління процесами структуроутворення композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих за рахунок регулювання контактних взаємодій в них з урахуванням електроповерхневих властивостей компонентів для забезпечення їхньої стійкості в умовах обводнення, впливу електричних струмів витоку, агресивних середовищ.

Завдання досліджень:

- виконати аналіз даних про сучасні експлуатаційні впливи, яких зазнають будівельні конструкції та інженерні споруди, що виготовлені та зведені з композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих, а також аналіз існуючих даних щодо факторів, що визначають корозійну стійкість композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих, у т. ч. водонепроникність, тріщиностійкість;

- уточнити уявлення щодо формування стійкої в умовах зовнішніх впливів структури штучного каменю, який утворюється внаслідок гідратації мінеральних в'язучих з урахуванням електроповерхневих властивостей компонентів композиційних матеріалів;

- теоретично та експериментально обґрунтувати можливість підвищення інформативності рентгенівських методів досліджень за рахунок дослідження закономірностей взаємодії робочого випромінювання з кристалами з певними електроповерхневими властивостями, зокрема для визначення електроповерхневого потенціалу мінералів;

- дослідити і встановити закономірності впливу кристалічної структури і

умов утворення на електроповерхневі властивості матеріалів;

- уточнити на основі положень колоїдної хімії та фізико-хімічної механіки закономірності та розробити фізичні і математичні моделі структур і контактів, що визначають реологічні, фізико-механічні та гідрофізичні властивості матеріалів на основі мінеральних в'язучих речовин;

- теоретично та експериментально обґрунтувати підвищення фізико-механічних і гідрофізичних характеристик композитів на основі мінеральних в'язучих за рахунок регулювання контактних взаємодій компонентів шляхом спрямованого структуроутворення введенням хімічних і мінеральних добавок;

- розробити на основі проведених досліджень нові композиційні матеріали та конструктивно-технологічні рішення з ремонту конструкцій і споруд і захисту їх в умовах експлуатації;

- провести експлуатаційні випробування та впровадити результати досліджень при новому будівництві і відновленні конструкцій і споруд об'єктів інфраструктури.

Об'єкт дослідження – композиційні матеріали з покращеними експлуатаційними властивостями на основі мінеральних в'язучих.

Предмет дослідження – контактні взаємодії та закономірності формування структури, що забезпечують високі фізико-механічні, гідрофізичні властивості, корозійну стійкість композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих, що містять хімічні та мінеральні добавки.

Методи досліджень. Для вирішення завдань роботи виконано аналітичний огляд літературних даних, розроблено наукові гіпотези щодо механізмів формування властивостей композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих. Доведення гіпотез виконано шляхом теоретичних досліджень на основі фундаментальних положень колоїдної хімії та фізико-хімічної механіки дисперсних систем і матеріалів. Розроблено методики та проведено експериментальні дослідження з доведення сформульованих гіпотез. Знак електричного поверхневого заряду продуктів гідратації мінеральних в'язучих і частинок мінеральних добавок визначали розрахунком абсолютних і рівноважних електроповерхневих потенціалів. Можливість хімічної взаємодії мінеральних в'язучих з мінеральними добавками оцінювали шляхом термодинамічного аналізу. Фізико-механічні та гідрофізичні властивості штучного каменю визначали випробуванням зразків-призм і кубів відповідно до стандартних методик і чинних нормативних документів. Електрофізичні властивості визначали за оригінальними методиками на зразках-призмах із композиції або в покриттях із неї на гранях зразків-призм із цементно-піщаного розчину. Склад продуктів гідратації і характер їхньої взаємодії з мінеральними добавками досліджували за допомогою рентгенофазового аналізу, інфрачервоної спектроскопії, світлової мікроскопії та скануючої електронної мікроскопії з електронно-зондовим мікроаналізом.

Наукова новизна одержаних результатів

- розвинуто уявлення щодо можливості управління процесами структуроутворення та формування будівельно-технічних властивостей мінеральних в'язучих і композиційних матеріалів на їхній основі, які забезпечують їх стійкість і довговічність під час експлуатації в умовах обводнення, впливу електричних струмів витоку, агресивних середовищ, шляхом забезпечення поєднання хімічної, термодинамічної стійкості дисперсної фази з максимально можливою кількістю контактів між частинками дисперсної фази, стабільних за впливів, характерних для зазначених умов експлуатації;

- встановлено закономірності впливу електричної природи контактів та іон-іонних, іон-дипольних і диполь-дипольних взаємодій в них на фізико-механічні та гідрофізичні (водостійкість) властивості штучного каменю та композиційних матеріалів; показано, що їх максимальні показники досягаються у випадку балансу активної площі поверхонь дисперсних частинок, що мають негативний S^- і позитивний S^+ поверхневі заряди;

- встановлено, що продукти гідратації мінеральних в'язучих – кристалогідрати анізометричної морфології можуть характеризуватись різнойменними електроповерхневим потенціалом і знаком поверхневого заряду подовжніх і торцевих граней у зв'язку з їхнім різним атомарним складом, внаслідок чого однакові кристалогідрати можуть утворювати електрогетерогенні контакти між торцевими і подовжніми гранями;

- розкрито роль впливу pH в сумарному агресивному впливі кислих середовищ на цементний камінь і доведено, що, крім хімічної нейтралізації кальціймістких сполук та впливу pH на їхню термодинамічну стійкість, додатковим фактором агресивного впливу зі зниженням pH є збільшення рівноважного електроповерхневого потенціалу ψ^p сполук, що мають негативний поверхневий заряд, до позитивних величин, внаслідок чого їхні електрогетерогенні контакти з позитивно зарядженими частинками перетворюються на електрогомогенні, міцність яких в умовах обводнення суттєво знижується; зі зниженням pH значення ψ^p гідроксилатів кальцію набувають позитивних значень: для CSH – при pH менше 6–5, C_2SH – менше 10–8;

- встановлено емпіричну залежність між величиною абсолютного електроповерхневого потенціалу мінералів ψ^0 і подвійним кутом відбивання рентгенівського випромінювання 2θ , який відповідає їх найбільш інтенсивному дифракційному максимуму; залежність є квадратичною з коефіцієнтом кореляції 0,95 – зі збільшенням 2θ значення ψ^0 зростає і переходить від негативних до позитивних значень за 2θ близько 35° ; це визначає можливість застосування рентгенофазового аналізу як незалежного методу оцінювання абсолютного електроповерхневого потенціалу мінералів;

- доведено доцільність регулювання контактних взаємодій для підвищення стійкості в умовах обводнення, впливу електричних струмів витоку, агресивних середовищ матеріалів на основі мінеральних в'язучих шляхом уведення аніонних ПАР, електролітів з багатовалентними катіонами, добавок, що обумовлюють

утворення додаткових кристалогідратів, високодисперсних мінеральних добавок, підвищення концентрації або зміни pH порового електроліту;

- подальший розвиток отримали науково-концептуальні засади управління процесами структуроутворення композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих за рахунок регулювання контактних взаємодій в них з урахуванням електроповерхневих властивостей компонентів; запропоновано шляхи управління фізико-механічними та гідрофізичними властивостями композитів, що забезпечують їхню стійкість в умовах обводнення, впливу електричних струмів витoku, агресивних середовищ, зокрема: підвищення водостійкості гіпсових в'язучих та електропровідних силікатних композицій для захисту від електрокорозії; покращення фізико-механічних та гідрофізичних властивостей і забезпечення електропровідності гідроізоляційних композицій проникної дії на основі портландцементу для захисту від електрокорозії; підвищення корозійної стійкості бетону органо-мінеральною добавкою на основі високодисперсної крейди; підвищення ранньої міцності бетону залізобетонних підрейкових основ залізниць.

Практичне значення одержаних результатів роботи поширюється на промислове та цивільне будівництво і залізничний транспорт і полягає у створенні нових можливостей для розв'язання прикладних завдань будівельного матеріалознавства і технологій бетону, будівельних сумішей, антикорозійного захисту та ремонту конструкцій і споруд на основі розроблених науково-концептуальних засад і отриманих закономірностей.

Запропоновано та впроваджено методики: визначення руйнівних факторів умов експлуатації конструкцій та споруд залізниць; визначення раціональних складів композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих із заданими властивостями, у т.ч. високими водостійкістю, водонепроникністю, корозійною стійкістю та розробки на їхній основі конструктивно-технологічних рішень для відновлення несучої здатності, захисту та підвищення довговічності конструкцій і споруд залізниць,

Розроблено: електропровідні композиції проникної дії [34, 35] та конструктивно-технологічне рішення для відновлення несучої здатності, захисту від електрокорозії та підвищення довговічності високих пасажирських платформ заземленими екранами із композиції, впроваджене на з.п. Комарівка Південної залізниці; бетон залізобетонних шпал підвищеної довговічності, який набуває передаточної міцності за 8–48 год за природного твердіння або за малопрогрівним режимом, впроваджений на Гніванському заводі спецзалізобетону та Коростенському заводі залізобетонних шпал; бетон і конструкції підрейкових основ із нього, що забезпечують зниження вібрації, електричних впливів і тріщиноутворення порівняно з традиційними конструкціями, впроваджені під час реконструкції трамвайних колій міст Харкова, Дніпра, Києва; бетон з органо-мінеральною добавкою високодисперсної крейди для монолітних ділянок збірно-монолітних залізобетонних конструкцій, впроваджений під час зведення будівлі по пр. Олександрівському, 67 у м. Харків; гіпсове в'язуче підвищеної водостійкості, що застосоване під час реконструкції цивільних будівель у містах Ужгород, Хмельницький, Краматорськ.

Практична значущість одержаних результатів підтверджується також їх використанням під час розроблення ДБН В.2.3-19:2018 «Споруди транспорту. Залізничні колії 1520 мм. Норми проектування», нормативних та інструктивних документів АТ «Укрзалізниця», у навчальному процесі під час удосконалення курсів лекцій, практичних і лабораторних робіт для здобувачів вищої освіти, магістрантів, аспірантів спеціальностей «Будівництво та цивільна інженерія» та «Залізничний транспорт».

Особистий внесок здобувача. Дисертаційна робота ґрунтується на результатах науково-дослідних робіт, що виконувались на кафедрі будівельних матеріалів, конструкцій та споруд Українського державного університету залізничного транспорту у 2011-2020 рр., у яких автор безпосередньо брала участь. Автором особисто проведено аналіз стану проблеми, обґрунтовано та сформульовано мету і завдання дисертації, виконано, виведено та проаналізовано теоретичні залежності, проаналізовано та проведено інтерпретацію результатів експериментальних досліджень, узагальнено інформацію, сформульовано висновки. Сформульовано наукові основи управління процесом структуроутворення композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих із заданими фізико-механічними, гідрофізичними, електрофізичними властивостями за рахунок регулювання контактних взаємодій шляхом введення до складу композиту визначених хімічних і мінеральних добавок. Здобувач брала безпосередню участь у дослідних та дослідно-промислових випробуваннях розроблених електропровідних композицій для екранного захисту від електрокорозії; бетонів з хімічними та мінеральними добавками, що дозволили з мінімальними енерговитратами отримати вироби підрейкових основ залізниць із заданими ранньою і проектною міцністю, морозостійкістю, водонепроникністю, електричним опором, тріщиностійкістю; гіпсового в'язучого підвищеної водостійкості. Участь автора у спільних публікаціях відображена в переліку опублікованих робіт.

Дисертація здобувача не містить матеріалів кандидатської дисертаційної роботи.

Апробація результатів дисертації. Результати дисертаційного дослідження доповідались на Міжнародній науково-технічній конференції «Нові технології, обладнання, матеріали в будівництві і на транспорті» (Харків, 2014); 76-й і 78-й Міжнародних науково-технічних конференціях «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті» (Харків, 2014, 2016); Міжнародній науково-практичній конференції «Эффективные технологические решения в строительстве с использованием бетонов нового поколения» (Харків, 2015); V-VIII Міжнародних науково-технічних конференціях «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті» (Харків, 2015, 2017-2019); Міжнародному науково-технічному семінарі «Моделювання та оптимізація будівельних композитів» (Одеса, 2016); VII Міжнародній науково-практичній конференції «Ефективні технології в міському будівництві та господарстві» (Одеса, 2018); 73-й науково-методичній конференції Харківського національного університету будівництва та архітектури (Харків, 2018); 20-й Міжнародній конференції з будівельних матеріалів «20'bausil» (Німеччина, Веймар, 2018); VI Міжнародній конференції «Актуальні проблеми інженерної механіки» (Одеса, 2019); XVII

International Scientific Conference Current Issues of Civil and Environmental Engineering Lviv - Košice – Rzeszów (Львів, 2019); Міжнародній науково-практичній конференції «Тренди та тенденції розвитку будівельної галузі» (Харків, 2020); Міжнародній науково-технічній конференції «Енергоефективність на транспорті» (Харків, 2020); VIII Міжнародній науково-практичній конференції «Ефективні організаційно-технологічні рішення та енергозберігаючі технології в будівництві» (Харків, 2020); International Scientific Conference EcoComfort and Current Issues of Civil Engineering EcoComfort 2020 (Львів, 2020).

Публікації. Основні наукові результати дисертаційної роботи опубліковано в 69 наукових працях, з яких дві монографії, 23 статті у фахових виданнях, рекомендованих МОН України, 8 публікацій у міжнародних періодичних виданнях, що індексуються НМБД Web of Science Core Collection та/або Scopus, два патенти України, 22 публікації апробаційного характеру, 12 додаткових публікацій.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація викладена на 415 сторінках і складається із вступу, шести розділів, загальних висновків, списку використаних джерел із 370 найменувань, містить 90 рисунків, 29 таблиць, 8 додатків на 75 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету і завдання досліджень, новизну і практичне значення отриманих результатів. Наведено відомості про апробацію та опублікування результатів досліджень, структуру та обсяг дисертації.

У **першому розділі** виконано аналіз численних даних пошкодження будівель і споруд залізниць, встановлено, що умови їх експлуатації містять різноманітні руйнівні фактори, деякі з яких недостатньо вивчені й не враховані чинними нормативами з будівництва та експлуатації. Виконано систематизацію пошкоджень і руйнівних факторів у їхньому взаємозв'язку.

Проведено аналітичний огляд джерел, присвячених дослідженням руйнівних факторів на матеріали та конструкції і захисту від них. Класифікація агресивних впливів на силікатні композиційні матеріали В. М. Москвіна, що ґрунтується на аналізі хімічних реакцій та уявленнях про фазові переходи (розчинення, кристалізація, кристалізаційний тиск), передбачає лише корозію трьох видів, яка відбувається тільки в рідких середовищах. Ф. М. Івановим, С. М. Алексєєвим зі співробітниками ці уявлення поглиблені на основі аналізу фільтрації, дифузії (стосовно вилуговування, карбонізації, проникнення електролітів). Більш досконалою, що ґрунтується на термодинамічному аналізі реакцій корозії та закономірностях колоїдної хімії (осмотичний тиск, електрокінетичні явища), є класифікація агресивних впливів В. І. Бабушкіна, яка передбачає механічні, фізичні, хімічні, фізико-хімічні, електрохімічні, біохімічні впливи. У роботах О. О. Старосельського, наукової школи А. М. Плугіна розвинуто уявлення про електричні впливи на силікатні композити, зокрема бетони. Показано, що електрокорозія силікатних композитів полягає в розкладанні продуктів гідратації цементу від впливу змінних стру-

мів критичної частоти, електроміграційному вилуговуванні від впливу пульсуючого односпрямованого електричного потенціалу, а також тріщиноутворенні внаслідок впливу надлишкових електричних зарядів природного та антропогенного походження. Щодо біологічних впливів, то Є. І. Андреюком, В. О. Юрченком та ін. уточнено види бактерій, що спричиняють мікробіологічну корозію, та отримано дані про кінетику мікробіологічної корозії, а А. А. Плугіним шляхом термодинамічного аналізу встановлено умови протікання біохімічних реакцій бактерій циклу сірки, обґрунтовано кінетику корозії з урахуванням усіх можливих механізмів перенесення, у т. ч. електрофорезу.

У питаннях стійкості матеріалів на основі мінеральних в'язучих в агресивних умовах експлуатації, крім хімічних реакцій, велика роль належить колоїдно-хімічним явищам – дифузії, осмосу, електрофорезу, для аналізу яких матеріали мають розглядатись як дисперсні системи, якими вони і є фактично. П. О. Ребіндер на основі уявлення про те, що затверділий цемент є дисперсною системою розрізнув два взаємопов'язаних аспекти твердіння цементу, а отже, утворення дисперсної системи та формування її властивостей – гідратацію і структуроутворення. При гідратації первинна дисперсна фаза за рахунок розчинення утворює розчин пересичений по відношенню до кристалів новоутворень, що в подальшому призводить до виникнення нової фази кристалічного гідрату за кризьрозчинним механізмом з утворенням коагуляційної структури. У структуроутворенні слід виділити стадії коагуляційної, конденсаційної та кристалізаційної структур з переважаючими коагуляційними, точковими (хімічними) і фазовими контактами між частинками та кристалами відповідно. Пізніше П. О. Ребіндер і Є. Д. Щукін запропонували рівняння, у якому міцність дисперсної системи на розтяг є добутком міцності індивідуального парного контакту між частинками дисперсної фази та поверхневою щільністю цих контактів.

Завдяки працям В. В. Тімашова О. О. Пащенко. Т. В. Кузнєцової, Л.Г. Шпинової, Х. С. Соболя, Н. F. W. Taylor, W. Kurdowski, F. P. Glasser та ін. на даний час достовірно розроблені фізико-хімічні основи формування та генезису мікроструктури цементного каменю, а також показано морфологію кристалогідрататів (гідроксид кальцію, гідроалюмінатні та гідросульфалюмінатні *AFm*- і *Aft*-фази), які є частинками дисперсної фази. В. Д. Глуховським, П. В. Кривенком, Р. Ф. Руновою, J. Davidovits було з'ясовано стехіометричний склад і будову продуктів гідратації створених ними лужних цементів (геополімерів). Майже всі вказані дослідники відзначали зв'язок характеру контактів між частинками і кристалами дисперсної системи з їхнім стехіометричним складом і кристалохімічною будовою, а В. В. Капранов, М. М. Сичов, Л. О. Шейніч, К. К. Пушкарьова, В. В. Вировий та ін. на додачу до цього ще й з енергетичними ефектами. На основі розуміння природи контактів В. Д. Глуховський, Р. Ф. Рунова, D. M. Roy, G. R. Gouda отримали в'язучі та композиційні матеріали контактного твердіння та аналогічні, які за рахунок гарячого пресування мають високі показники міцності одразу після формування, а О. Г. Ольгінському пояснити природу взаємодії між продуктами гідратації портландцементу і заповнювачами та ефективно регулювати зону контакту між ними. М.А Саницький, Т.П. Кропивницька поглибили теоретичні уявлення про формування структурно-фазового стану цементуючих матеріалів на різних

функціональних рівнях і з використанням спеціально розробленої методології визначення кількісних залежностей полімодального диференційного та інтегрального розподілів розмірів частинок дисперсних систем за питомою поверхнею провели оцінку їх поверхневої активності.

І. В. Барабашем, О. С. Шинкевич підтверджено, що різні способи активації поверхні і збільшення дисперсності, які супроводжуються збільшенням кількості контактів, дають можливість досягти підвищення міцності композиційних матеріалів. E. Horszcharuk, P. Sikora, D. Stephan, О. В. Ущеровим-Маршаком, В. М. Дерев'янком, Л. Й. Дворкіним, Т. О. Костюк, В. Р. Сердюком, В. П. Соповим, А.В. Мішутіним, М.В. Шпирьком, В.В.Трояном, І.І. Руденком та ін. уточнено вплив сучасних хімічних і мінеральних добавок, у т. ч. таких, що є відходами виробництва, на процеси гідратації портландцементу і формування структури силікатних композитів. С.М. Толмачов, У.Д. Марущак, М.В. Суханевич дослідили закономірності впливу нанорозмірних частинок або волокон на властивості портландцементних композитів і отримали, відповідно, тріщиностійкі дорожні бетони, високофункціональні надшвидкотверднучі бетони та гідроізоляційні розчини.

Важливим фактором у структуроутворенні є взаємне розташування компонентів твердої фази у тверднучій системі. Більшість дослідників вважають, що продукти гідратації утворюються і зростають на поверхні (або поблизу) зерен вихідного в'язучого, утворюючи плівки, оболонки, що екранують шари. Однак І. Г. Гранковський, О. М. Розенталь, О. П. Полак та ін. показали, що кристалізація з розчину на поверхні або поблизу неї – енергетично більш вигідний процес і фактично здійснюється саме таким чином. G. L. Kalousek належить також цікаве припущення про те, що зародки зростаючих кристалів, утворюючись поблизу поверхні вихідного в'язучого, утримуються в такому положенні електростатичними силами. Аналогічну позицію обґрунтовує А. М. Плутін. О. Є. Шейкін вважає, що між новоутворенням і вихідним зерном в'язучого є зона переходу. При твердінні клінкерних мінералів у присутності гіпсу в першу чергу, як показали П. Г. Комохов, О. П. Мчедлов-Петросян та ін., утворюються кристали еtringіту, які й обумовлюють формування кристалізаційного каркасу тверднучого цементу. При подальшому твердінні кристалізаційний каркас проростає, заповнюється гелевими частинками, утворюючи, за Л. Г. Шпиновою, І. Ф. Єфремовим блочно-ритмічну структуру. Для детального дослідження домінуючих процесів під час гідратації цементу В. Lothenbach і К. Scrivener зі співавторами було проведено термодинамічне моделювання, а також експериментальні спостереження процесу гідратації портландцементу в присутності вапняку та метакаоліну з утворенням *AFm*-фаз, збільшенню загального об'єму гідратних фаз та зменшенню пористості.

В.В. Ілюхіним, М.А. Саницьким розкрито кристалохімічні закономірності розвитку процесів гідратації в групах силікатів і алюмінатів кальцію, які визначаються локальною незбалансованістю на атомах кисню в їх кристалічних структурах. Звідси витікає, що локальна незбалансованість валентностей та анізотропія хімічних зв'язків всередині кристалічної ґратки цементних мінералів в значній мірі може обумовлювати нерівномірність розподілу зарядів на поверхні.

Отже, важливе значення для аналізу стійкості в умовах експлуатації композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих має модель дисперсної системи, властивості якої визначають поверхневі явища та електроповерхневі властивості частинок її дисперсної фази та контакти між ними.

Сформульовану **наукову гіпотезу**. Підвищити стійкість композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих в умовах експлуатації можна за рахунок спрямованого регулювання контактних взаємодій складових – коригування значення рівноважних електроповерхневих потенціалів мінеральних частинок при зміні pH середовища, збільшення концентрації протиіонів шляхом уведення електrolітів, нейтралізації або перезарядження поверхонь за рахунок вибіркової адсорбції ПАР; спрямованого регулювання процесів гідратації з утворенням позитивно заряджених кристалогідратів до досягнення відповідності сумарної площі поверхонь, що мають негативний і позитивний поверхневі заряди, для збільшення кількості електрогетерогенних контактів у системі.

У **другому розділі** наведено методологічну базу досліджень, обґрунтовано принципи вибору хімічних і мінеральних добавок для композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих.

Проаналізовано вплив хімічних та мінеральних добавок на склад продуктів гідратації і структуру матеріалів на основі мінеральних в'язучих. Підвищення гідрофізичних та фізико-механічних характеристик, тріщиностійкості, корозійної стійкості композитів можливе за рахунок уведення комплексних хімічних добавок та мінеральних мікронаповнювачів, механізми впливу яких можуть бути обґрунтовані на основі положень фізичної хімії, зокрема, термодинаміки, і колоїдної хімії, зокрема, фізико-хімічної механіки дисперсних систем і матеріалів.

У роботі досліджено зразки композиційних матеріалів – штучного каменю з мінеральних в'язучих, розчинів і бетонів. В'язучі речовини: портландцементи І типу ПЦ І-500, ПЦ І-500Н; ПЦ І-400; ІІ типу ПЦ ІІ/А-Ш-400, ПЦ ІІ-Б/Ш-400; гіпс будівельний марок Г-4, Г-7; розчин силікату натрію; шлак доменний гранульований мелений використано двох складів – кислого та основного, виробництва ПАТ «ММК «Азовсталь», «Запоріжсталь», ВАТ «МітталСтіл Кривий Ріг». Добавки для бетону пластифікуючої групи, за ДСТУ Б В.2.7-171:2008: нафталінформальдегідного типу; полікарбосилатного типу (ПК); поліакрилатного типу; лігносульфонат технічний (ЛСТ). Мінеральні добавки і добавки-наповнювачі для композитів: метакаолін МК Centrilit NC; мікрокремнезем; пил газоочищення виробництва феросиліцію; нанодисперсний глинозем; сталевий порошок марки «ПЖР 3»; скловолокно з алюмоборосилікатного скла; спучений перлітовий пісок Закарпатського родовища; графітовий порошок - графіт змащувальний ГС-1; високодисперсна крейда Слов'янського родовища. Хімічні добавки: сульфат натрію Na_2SO_4 ; нітрат натрію $NaNO_3$; нітрит натрію $NaNO_2$; нітрат кальцію $Ca(NO_3)_2$; нітрит кальцію $Ca(NO_2)_2$; хлорид натрію $NaCl$; хлорид кальцію $CaCl_2$; сечовина (карбамід) $(NH_2)_2CO$; карбонат натрію Na_2CO_3 ; калію гексаціаноферат $K_4[Fe(CN)_6] \cdot 3H_2O$. Добавки гідроксиду кальцію $Ca(OH)_2$ або карбїду кальцію.

Третій розділ присвячено розробленню фізичних і математичних моделей структур і контактів у композиційних матеріалах на основі мінеральних в'язучих. Виявлено закономірності впливу електричної природи контактів та іон-іонних,

іон-дипольних і диполь-дипольних взаємодій на реологічні, фізико-механічні та гідروفізичні властивості композитів.

У процесі формування структури штучного каменю, що утворюється при гідратації мінеральних в'язучих, значну роль відіграють електричні заряди поверхні частинок в'язучих, продуктів їхньої гідратації, наповнювача, зерен заповнювача. Електричні поверхневі заряди кількісно характеризуються електроповерхневим потенціалом ψ , В, і густиною поверхневого заряду q , Кл/м². Для забезпечення достовірності даних поверхневі заряди та електроповерхневі потенціали дисперсних матеріалів мають визначатись одночасно декількома незалежними методами. А. М. Плуґінім, А. А. Плуґінім розроблено і розвинуто зі співавторами методику визначення абсолютних і рівноважних електроповерхневих потенціалів речовин електрохімічними та енергетичними розрахунково-експериментальними методами. Для в'язучих систем також використовуються методи сепарації частинок у високовольтному електричному полі, вимірювання електрокінетичного ζ -потенціалу, вибіркової адсорбції колірних індикаторів на поверхневих активних центрах.

Ґрунтуючись на даних про електричні поверхневі заряди мінеральних часток було припущено, що на характер взаємодії рентгенівських променів з кристалами впливає величина абсолютного електроповерхневого потенціалу.

Виконано порівняння величин 2θ сполук, характерних для мінеральних в'язучих, з величинами їхнього абсолютного електроповерхневого потенціалу ψ^0 , визначеного розрахунково-експериментальним методом (табл. 1). Виявлено емпіричну залежність між ψ^0 і 2θ найбільш інтенсивних дифракційних максимумів, графік якої наведено на рис. 1.

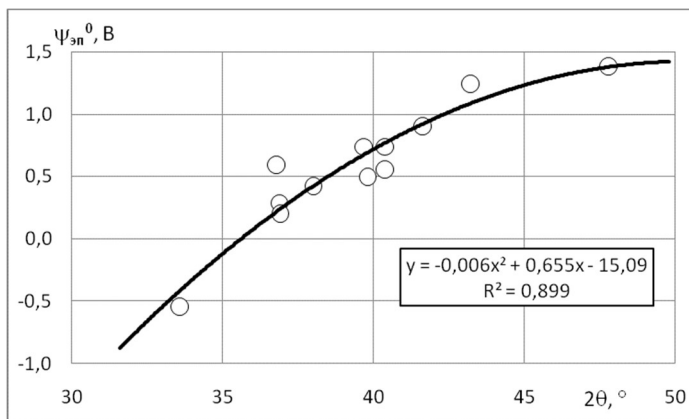


Рис. 1. Залежність абсолютного ЕПП ψ^0 сполук, характерних для мінеральних в'язучих, від подвійного кута 2θ найбільш інтенсивного дифракційного максимуму

Аналіз рис. 1 показує високий ступінь кореляції між ψ^0 і 2θ в інтервалі $2\theta = 30\text{--}50$, залежність в якому апроксимується поліномом другого степеня (квадратичною залежністю) з високим ступенем кореляції $R = 95\%$. Зазначений взаємозв'язок може бути пояснений тим, що для аналізованих систем найбільш інтенсивний дифракційний максимум може визначатись не тільки відбиттям рентгенівських променів кристалографічними площинами кристалів, а впливом на нього потенціалвизначальних іонів на поверхні кристалів, електричний заряд яких та відстані між ними і визначають величину ψ^0 .

Таблиця 1

Рентгенографічні характеристики 2θ (по найбільш інтенсивному дифракційному максимуму) і абсолютні електроповерхневі потенціали $\psi_{\text{еп}}^0$ сполук, характерних для мінеральних в'язучих

	Сполука	$2\theta, ^\circ$	$\psi_{\text{еп}}^0, \text{В}$
Вапно	CaO	47,8	1,38
Кварц	SiO_2	33,6	-0,55
Аліт	C_3S	40,4	0,74
Беліт	C_2S	40,3	0,55
Алюмінат	C_3A	41,6	0,90
Алюмоферит	C_4AF	39,7	0,74
НОГСК	CSH	36,9	0,29
ВОГСК	C_2SH	36,8	0,59
Портландит	Ca(OH)_2	43,2	1,24
Кальцит	CaCO_3	36,9	0,20
Ангідрит	CaSO_4	39,8	0,49
Гіпс-двогідрат	$\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$	38,0	0,42
ГМСАК	$\text{C}_3\text{A} \times \text{CaSO}_4 \times 19\text{H}_2\text{O}$	12,6	0,65
Еtringіт	$\text{C}_3\text{A} \times 3\text{CaSO}_4 \times 32\text{H}_2\text{O}$	11,4	0,90

Електроповерхневі потенціали кристалогідратів анізотричної форми

Досліджено вплив кристалічної структури на поверхневі властивості мінералів. Аналіз кристалічної будови природних і штучних мінералів, що мають шарувату структуру, дозволив припустити, що грані їхніх кристалів мають різний за величиною і знаком поверхневий заряд (рівноважний ЕПП).

Для визначення величини поверхневого потенціалу кристалу гіпсу умовно використано атомарний склад поверхневого ряду атомів за схемою елементарної комірки гіпсу-двогідрату $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (рис. 2). Із схеми видно, що атоми сірки екрануються атомами кисню та містяться всередині тетраєдрів SO_4 . На поверхню подовжніх граней виходять складові решітки, що містять тільки атоми кальцію та кисню у співвідношенні 2:2. Аналогічно на поверхню торцевих граней виходять складові решітки, що також містять тільки атоми кальцію та кисню, проте у кількісному співвідношенні 1:4. Абсолютний ψ^0 і рівноважний ψ^p ЕПП бічних граней складуть

$$\psi_{\text{бг}}^0 = -\frac{2\psi_{\text{Ca}}^0 + 2\psi_{\text{O}}^0}{4} = -\frac{-2 \cdot 4,2 + 2 \cdot 1,44}{4} = 1,39 \text{ В}, \quad (1)$$

$$\psi_{\text{бг}}^p = \psi_{\text{бг}}^0 - 0,059pH = 1,39 - 0,059 \cdot 7 = 0,98 \text{ В}, \quad (2)$$

а торцевих граней

$$\psi_{\text{тг}}^0 = -\frac{\psi_{\text{Ca}}^0 + 4\psi_{\text{O}}^0}{1+4} = -\frac{-4,2 + 4 \cdot 1,44}{5} = -0,31 \text{ В}, \quad (3)$$

$$\psi_{\text{тг}}^p = \psi_{\text{тг}}^0 - 0,059pH = -0,31 - 0,059 \cdot 7 = -0,72 \text{ В}, \quad (4)$$

де ψ_{Ca}^0 і ψ_{O}^0 – абсолютні ЕПП кальцію та кисню, відповідно -4,20 і 1,44 В.

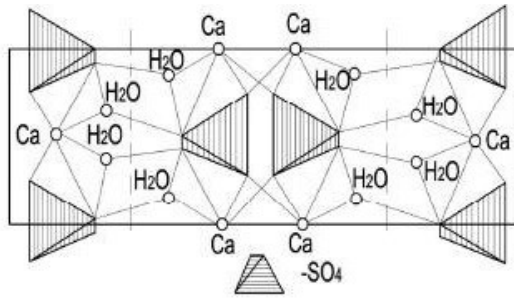


Рис. 2. Схема кристалічної будови гіпсу-двогідрату за А. Г. Бетехтіним

За аналогією з гіпсом розраховано також заряди поверхонь *Aft*-фаз продуктів гідратації. Наприклад, для еtringіту характерна голчаста гексагональна структура, утворена направленими паралельно осям голок стовпчиками, які складаються з елементів, яким відповідає емпірична формула $[Ca_3Al(OH)_6 \cdot 12H_2O]^{3+}$ (рис. 3), між стовпчиками розташовуються канали, у яких міститься відповідна кількість аніонів SO_4^{2-} і решта молекул H_2O . Абсолютний ψ^0 і рівноважний (при $pH12$ для цементного каменю) ψ^p ЕПП бічних граней еtringіту складуть

$$\psi_{\text{бг}}^0 = - \frac{3\psi_{Ca}^0 + \psi_{Al}^0 + 6(\psi_O^0 + \psi_H^0) + 12(2\psi_H^0 + \psi_O^0)}{3 + 1 + 6 + 12} =$$

$$= - \frac{3 \cdot (-4,2) + (-2,99) + 6 \cdot (1,44 + (-1,2)) + 12 \cdot (2 \cdot (-1,2) + 1,44)}{22} =$$

$$= 1,17 \text{ В}, \quad (5)$$

$$\psi_{\text{бг}}^p = \psi_{\text{бг}}^0 - 0,059pH = 1,17 - 0,059 \cdot 12 = 0,46 \text{ В}, \quad (6)$$

а торцевих граней

$$\psi_{\text{тг}}^0 = - \frac{4\psi_{Al}^0 + 3(\psi_S^0 + 4\psi_O^0) + 2(2\psi_H^0 + \psi_O^0)}{4 + 3 + 2} =$$

$$= - \frac{3 \cdot (-2,99) + 3 \cdot (1,41 + 4 \cdot 1,44) + 2 \cdot (2 \cdot (-1,2) + 1,44)}{9} =$$

$$= -0,85 \text{ В}, \quad (7)$$

$$\psi_{\text{тг}}^p = \psi_{\text{тг}}^0 - 0,059pH = -0,85 - 0,059 \cdot 12 = -1,56 \text{ В}. \quad (8)$$

Гідрокарбоалюмінат кальцію трисульфатної форми має схожу кристалохімічну формулу з еtringітом. Отже, можна припустити, що структура його кристалів також складається зі стовпчиків, елементами яких також є $[Ca_3Al(OH)_6 \cdot 12H_2O]^{3+}$, а аніони CO_3^{2-} і решта молекул H_2O містяться в каналах між стовпчиками (рис. 3). Результати дослідження зведено в табл. 2.

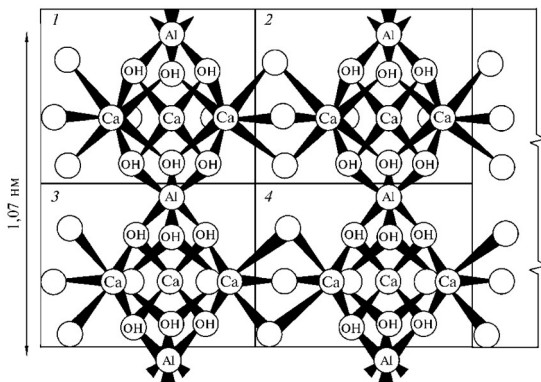


Рис. 3. Основні структурні одиниці, що складають поверхню кристалів *Aft*-фаз (етрингіту, гідрокарбоалюмінату кальцію трикарбонатної форми)

Електроповерхневі властивості продуктів гідратації мінеральних в'язучих з анізотричними кристалами – гіпсу та АFт-фаз

Продукт гідратації		Характеристики подовжньої грані			Характеристики торцевої грані		
		Хімічний склад	ψ^0 , В	ψ^p , В	Хімічний склад	ψ^0 , В	ψ^p , В
Гіпс	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	Ca_2O_2	1,39	0,98	CaO_4	-0,31	-0,72
Еtringіт	$C_3A \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O$	$Ca_3Al(OH)_6 \times 12H_2O$	1,17	0,46		-0,85	-1,56
Гідрокарбоалюмінат кальцію	$C_3A \cdot 3CaCO_3 \cdot 32H_2O$	$Ca_3Al(OH)_6 \times 12H_2O$	1,17	0,46		+0,50	-0,21

Зміна знаку електроповерхневого потенціалу природної дисперсної крейди адсорбцією кремнезему

Природні кам'яні матеріали, як правило, зустрічаються не у вигляді чистих хімічних сполук, а у вигляді однофазових і багатофазових сумішей. Причиною цього може бути полікомпонентність середовища, а також нестабільність термодинамічних умов. Вплив умов утворення на електроповерхневі властивості природних матеріалів досліджено на прикладі крейди.

Поверхневі властивості крейди відрізняються від властивостей інших карбонатних порід. Це пов'язано з тим, що крейда являє собою конгломерат, який складається із слабозцементованої, дрібнозернистої маси, що представлена тонким (2-5, рідше 10 мкм) органогенним (переважно кокколіти) і пелітоморфним кальцитом та уламками кристалічного кальциту. Загальна питома поверхня крейди $S_{\text{пит}}=7300 \text{ см}^2/\text{г}$. Поверхня органогенних зерен крейди, що складають не менше 60 %, вкрита аморфною формою кремнезему, наявність якої призводить до перезарядження поверхні (рис. 4). Це пояснює надлишковий негативний заряд крейди у водних дисперсіях, значення ζ -потенціалу – негативне.

У разі використання природної крейди як мінеральної добавки необхідно враховувати залежність від pH форми знаходження кремнезему поверхні. За даними розрахунку полів стійкості, при pH в межах 3-10 основною формою кремнекислоти в розчині є $H_4SiO_4^0_{\text{aq}}$, від pH 10 до pH 11,7 – іон $H_3SiO_4^-_{\text{aq}}$, а від pH 12,2 і вище – іони $HSiO_4^{3-}_{\text{aq}}$ і $SiO_4^{4-}_{\text{aq}}$. Це необхідно враховувати в цементних композитах при аналізі реакцій розчинення клінкерних мінералів і утворення гідросилікатів кальцію як безпосередньо з них, так і з мінеральних кремнійвмісних добавок і гідроксиду кальцію, що утворюється при гідролізі трикальцієвого силікату.

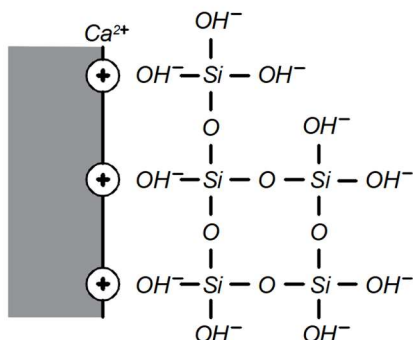


Рис. 4. Схема адсорбції кремнезему (кремнегелю) на поверхні карбонатних зерен крейди з їх перезарядженням

Розвиток класифікації структур тверднучих мінеральних в'язучих з урахуванням контактних взаємодій у них

Композити на основі мінеральних в'язучих є висококонцентрованими полідисперсними системами, що складаються з дисперсної фази у вигляді частинок заповнювача, в'язучого і продуктів гідратації, а також дисперсійного середовища у вигляді порового електроліту (води замішування). Міцність системи на всіх стадіях твердіння є результатом взаємодій між поверхнями частинок, що контактують. Властивості таких систем зумовлені дією сил, які виявляються в міжфазних взаємодіях і діють всередині кожної фази між атомами, іонами чи молекулами. Цими силами є такі міжмолекулярні взаємодії та хімічні зв'язки.

Молекулярні, або Ван-дер-Ваальсові, сили – сили взаємодії між молекулами, що складаються у даних системах з орієнтаційного (диполь-дипольного) ефекту

$$E_{d-d} = \frac{2\mu_1\mu_2}{\epsilon r^3} \cdot \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \quad (9)$$

де μ_1 і μ_2 – дипольні моменти двох видів молекул; r – відстань між молекулами.

Електростатичні взаємодії обумовлені електростатичним полем ПВІ і складаються з енергетичних ефектів:

іон-іонного

$$E_{i-i} = \frac{z_1 z_2 \cdot e^2}{\epsilon r_{i-i}} \cdot \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \quad (10)$$

іон-дипольного

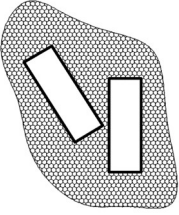
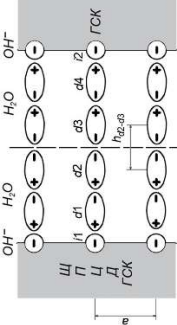
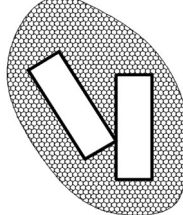
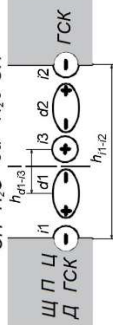
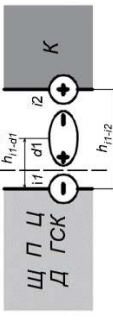
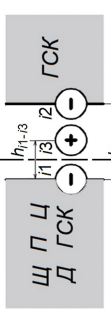
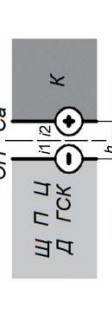
$$E_{i-d} = \frac{z_1 e \mu}{\epsilon r_{i-d}^2} \cdot \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \quad (11)$$

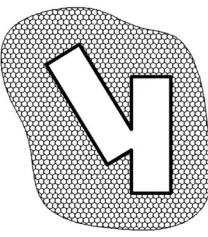
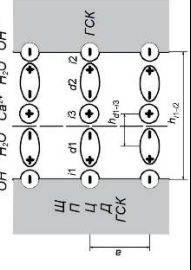
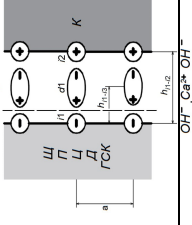
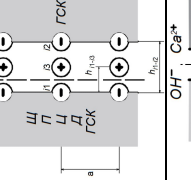
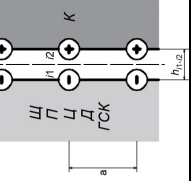
де z_1, z_2 – валентності, відповідно ПВІ та протііона; e – елементарний заряд (заряд електрона); ϵ, ϵ_0 – відносна діелектрична проникність середовища та діелектрична проникність вакууму (електрична стала); r_{i-i} – відстань між іонами; r_{i-d} – відстань між іоном і диполем води; $1/(4\pi\epsilon_0)$ – коефіцієнт переведення електричного потенціалу в систему СІ.

З урахуванням такої природи контактних взаємодій удосконалено класифікації структур і контактів у матеріалах на основі мінеральних в'язучих речовин, запропоновані П. О. Ребіндером, В. Д. Глуховським і Р. Ф. Руновою, а також А. М. Плугіним. Удосконалена класифікація наведена в табл. 3. Як видно, енергію та відповідно силу взаємодії в контактах визначають різні сполучення диполь-дипольних, іон-дипольних та іон-іонних взаємодій.

Для порівняння внеску контактів у формування міцності композита на основі мінеральних в'язучих розраховано енергії взаємодії для кожного виду контакту на прикладі цементного каменю. Енергії взаємодії в контактах, які припадають на один ланцюжок між ПВІ, розраховані за рівняннями, наведеними в табл. 3, і рівняннями (9) - (11), наведені в табл. 3 і на діаграмі рис. 5. Як бачимо з рис. 5, енергія взаємодії зростає від коагуляційних до конденсаційних контактів зі зростанням внеску до сумарної енергії взаємодії іон-дипольних та, особливо, іон-іонних взаємодій. Питома енергія взаємодії, що припадає на одиницю площі контакту, визначається поверхневою густиною індивідуальних контактів між ПВІ (через ланцюжки) γ та у підсумку ще й часткою площі контактів у загальному перерізі матеріалу.

Класифікації структур і контактів, що визначають реологічні, фізико-механічні та гідрфізичні властивості матеріалів на основі мінеральних в'язучих речовин

Структури і контакти за П. О. Ребіндером (В. Д. Глуховським і Р. Ф. Руногового)	Позначення, назва і коротка характеристика контактів	Схема контакту	Тип взаємодії в контакті, який визначає реологічні, фізико-механічні та гідрфізичні властивості
<p>1</p> <p>Коагуляційні (контактно-конденсаційні) структури з контактами через плівки води</p>  <p>Контакти неводостійкі незворотні</p>	<p>2</p> <p>Кг1 Коагуляційні електрогетерогенні контакти з надлишком води на початкових стадіях ту-жвлення</p>	<p>3</p> 	<p>4</p> <p>Диполь-дипольні взаємодії між антиполюсно орієнтованими диполями води визначають рідкоподібний стан з низькими в'язкістю і напруженням зсуву:</p> $E_i = -E_{i1-d3} - E_{i1-d4} - E_{i1-i2} - E_{d1-d3} - E_{d1-d4} - E_{d1-i2} - E_{d2-d3} - E_{d2-d4} - E_{d1-i2} = -3,05 \cdot 10^{-20} \text{ Дж}; E_s = \gamma E_p, \text{ Дж/м}^2$ <p>Диполь-дипольні взаємодії між послідовно орієнтованими диполями води визначають рідкоподібний стан з високими в'язкістю і напруженням зсуву:</p> $E_i = E_{i1-d3} + E_{i1-d4} + E_{i1-i2} + E_{d1-d3} + E_{d1-d4} + E_{d1-i2} + E_{d2-d3} + E_{d2-d4} + E_{d1-i2} = 3,05 \cdot 10^{-20} \text{ Дж}; E_s = \gamma E_p, \text{ Дж/м}^2$
<p>Псевдоконденсаційні (контактно-конденсаційні) структури з точковими контактами</p>  <p>Контакти водостійкі зворотні</p>	<p>Кн1 Локальні електрогетерогенні контакти зі спільним гідратованим протиіоном</p>		<p>Іон-дипольні взаємодії визначають твердий стан з помірною міцністю і низькою водостійкістю:</p> $E_i = E_{i1-i3} - E_{i1-d2} - E_{i1-i2} + E_{d1-i3} + E_{d1-d2} - E_{d1-i2} = 30,48 \cdot 10^{-20} \text{ Дж}; E_s = \gamma_1 E_p, \text{ Дж/м}^2$ <p>Іон-дипольні взаємодії визначають твердий стан з помірними міцністю і водостійкістю:</p> $E_i = E_{i1-d1} + E_{i1-i2} = 96,72 \cdot 10^{-20} \text{ Дж}; E_s = \gamma_1 E_p, \text{ Дж/м}^2$
<p>Контакти водостійкі зворотні</p>	<p>Кн2 Локальні електрогетерогенні контакти з мономолекулярним шаром води</p> <p>Кн3 Локальні електрогетерогенні контакти зі спільним негідратованим протиіоном</p> <p>Кн4 Локальні електрогетерогенні безпосередньо між ПВІ</p>	  	<p>Іон-іонні взаємодії визначають твердий стан з помірними міцністю і водостійкістю:</p> $E_i = E_{i1-i3} - E_{i1-i2} = 136,66 \cdot 10^{-20} \text{ Дж/м}^2; E_s = \gamma_1 E_p, \text{ Дж/м}^2$ <p>Іон-іонні взаємодії визначають твердий стан з високою міцністю і помірною водостійкістю:</p> $E_i = \gamma_1 E_{i1-i2} = 182,21 \cdot 10^{-20} \text{ Дж}; E_s = \gamma_1 E_p, \text{ Дж/м}^2$

1	2	3	4
<p>Конденсційно-кристалізаційні структури з фазовими контактами</p>  <p>Контакти водостійкі зворотні, які переходять у незворотні або водостійкі незворотні. За В. Д. Глуховським і Р.Ф. Руновою, за присутності нестабільної фази є зворотними</p>	<p>Ф1 Електрогетерогенні концентраційні контакти зі спільним шаром гідратованих протіонів</p> <p>Ф2 Електрогетерогенні контакти з мономолекулярним шаром води</p> <p>Ф3 Електрогетерогенні контакти із спільним шаром негідратованих протіонів</p> <p>Ф4 Електрогетерогенні контакти безпосередньо між ПВІ</p>	   	<p>Іон-дипольні взаємодії визначають твердий стан з високою міцністю і низькою водостійкістю: $E_i = E_{i1-i3} - E_{i1-d2} - E_{i1-i2} + E_{d1-i3} + E_{d1-d2} - E_{d1-i2}$; $E_s = \gamma_1 E_{i5}$; $\gamma_2 \approx 1/a^2 \gg \gamma_1$, $1/M^2$</p> <p>Іон-дипольні взаємодії визначають твердий стан з високими міцністю і водостійкістю: $E_i = \gamma_2(E_{i1-d1} + E_{i1-i2})$; $E_s = \gamma_1 E_{i5}$; $\gamma_2 \approx 1/a^2 \gg \gamma_1$, $1/M^2$</p> <p>Іон-іонні взаємодії визначають твердий стан з високими міцністю і водостійкістю: $E_i = \gamma_2(E_{i1-i3} - E_{i1-i2})$; $E_s = \gamma_1 E_{i5}$; $\gamma_2 \approx 1/a^2 \gg \gamma_1$, $1/M^2$</p> <p>Іон-іонні взаємодії визначають твердий стан з високою міцністю і високою водостійкістю: $E_i = \gamma_2 E_{i1-i2}$; $E_s = \gamma_1 E_{i5}$; $\gamma_2 \approx 1/a^2 \gg \gamma_1$, $1/M^2$</p>

Примітки: штриховою лінією показана умовна поверхня розриву, через яку здійснюються індивідуальні взаємодії в ланцюжках між ПВІ.

E_i – енергія індивідуальної взаємодії в ланцюжку між ПВІ, Дж.

$E_s \approx \gamma E_i$ – питома енергія взаємодії між поверхнями частинок, Дж/м².

γ , γ_1 , γ_2 – поверхнева густина (на поверхнях частинок) індивідуальних контактів у ланцюжках між ПВІ, $1/M^2$.

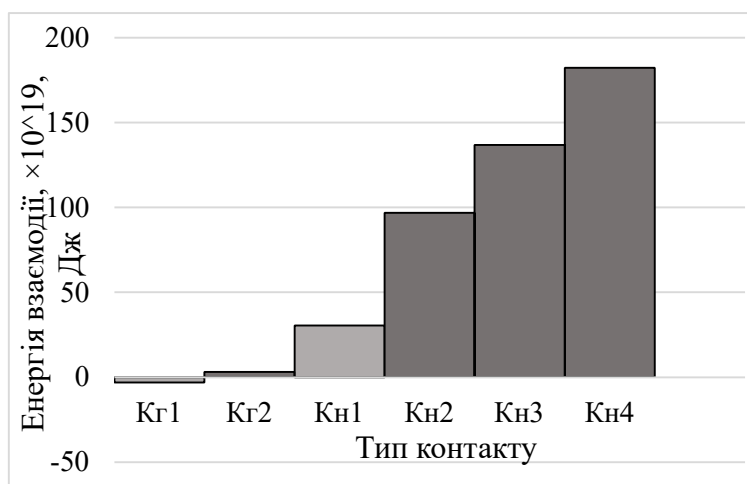


Рис. 5. Енергія індивідуальної взаємодії в ланцюжку між ПВІ контактах різного типу E , Дж $\times 10^{19}$

Отже, для підвищення міцності та водостійкості матеріалів необхідно забезпечувати утворення в них контактів з якомога більшою енергією взаємодії. На основі цієї класифікації розвинуто основи теорії міцності й водостійкості композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих речовин, встановлено закономірності, що визначають реологічні, фізико-механічні та гідрофізичні властивості.

Баланс між сумарними площами поверхонь з різними за знаком електроповерхневими потенціалами та його регулювання за рахунок уведення хімічних добавок

За даними аналітичного огляду літературних джерел і власними експериментальними даними досліджено залежності фізико-механічних і гідрофізичних (водостійкості) властивостей штучного каменю від співвідношення активних площ поверхонь дисперсних частинок, що мають негативний і позитивний поверхневі заряди S^-/S^+ . Оскільки поверхня більш крупних частинок кристалогідратів потенційно вся може брати участь в утворенні контактів, за активну її прийняли повністю. У частинок гелю в утворенні контактів потенційно беруть участь поверхні лише одного з трьох вимірів, тому для них прийнято знижувальний коефіцієнт $1/3$. Результати досліджень узагальнені в табл. 4, 5 і на рис. 6.

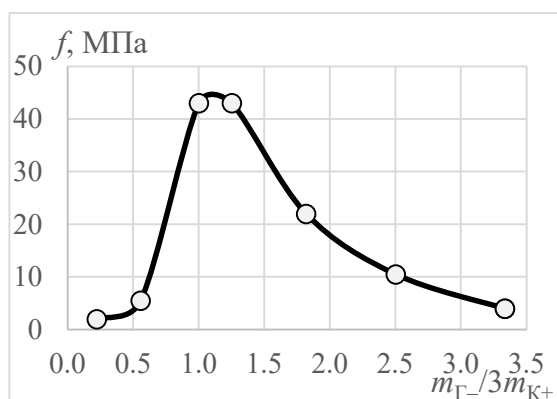
Аналіз рис. 6 і 7 показує, що максимальні показники фізико-механічних і гідрофізичних (водостійкості) властивостей штучного каменю на основі мінеральних в'язучих досягаються у випадку балансу активної площі поверхонь дисперсних частинок, що мають негативний і позитивний поверхневі заряди. Так, для кальційсилікатних в'язучих ці показники досягаються при величинах $S^-/3S^+$, що знаходяться в межах 5-7.

Отже, шляхом регулювання фізико-механічних і гідрофізичних властивостей штучного каменю на основі мінеральних в'язучих визначено потрібний баланс активної площі поверхонь дисперсних частинок, що мають негативний і позитивний поверхневі заряди, і його забезпечення. Кількість негативно заряджених гелевих і позитивно заряджених кристалогідратних продуктів регулюється уведенням хімічних і мінеральних добавок. Способом регулювання цього балансу є введення добавок, що забезпечує синтез додаткових кристалогідратів із визначеними поверхневими властивостями.

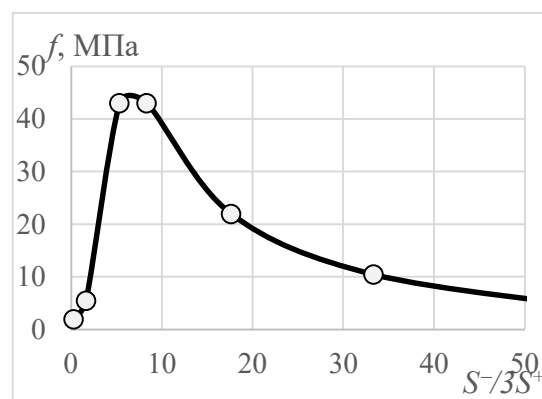
Таблиця 4

Залежність міцності на стиск f кальційсилікатних в'язучих речовин від масового співвідношення продуктів гідратації з негативним (гелевих) і позитивним (кристалічних) продуктами гідратації $m_{Г-}/m_{К+}$ і розрахункового співвідношення активних площ поверхонь з негативним і позитивним зарядами $S^-/3S^+$

Номер	В'язуча речовина	$m_{Г-}/m_{К+}$	Питома поверхня, m^2/kg		$S^-/3S^+$	f , МПа
			$S_{К+}$	$S_{Г-}$		
1	Романцемент	3,33	10000	160000	59,3	4
2	C_2S	3,33			59,3	4
3	$0,25C_3S+0,75C_2S$	2,50			33,3	10,5
4	$0,5C_3S+0,5C_2S$	1,82			17,6	22
5	$0,75C_3S+0,25C_2S$	1,25			8,3	43
6	C_3S	1,00			5,3	43
7	Гідралічне вапно	0,56			1,6	5,5
8	Вапно	0,22			0,3	2



а



б

Рис. 6. Залежність міцності на стиск f кальційсилікатних в'язучих речовин (табл. 4): а – від масового співвідношення продуктів гідратації з негативним (гелевих) і позитивним (кристалічних) поверхневими зарядами $m_{Г-}/m_{К+}$; б – співвідношення активних площ поверхонь з негативним і позитивним зарядами $S^-/3S^+$

Таблиця 5

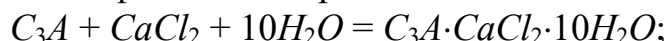
Залежність міцності на стиск f і водостійкості (коефіцієнта розм'якшення) K_p силікатних в'язучих речовин від співвідношення активних площ поверхонь з негативним і позитивним зарядами $S^-/3S^+$

Номер	В'язуча речовина	$m_{Г-}/m_{К+}$	$S^-/3S^+$	f , МПа	K_p
1	Рідке скло	$\gg 10$	$\gg 100$	> 1	0
2	Романцемент	3,33	53,5	4	0,6
3	Портландцемент	1,25	20,1	50	1
4	Гідралічне вапно	0,56	8,92	5,5	0,4
5	Вапно	0,22	0	2	0

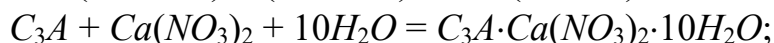
У четвертому розділі обґрунтовано шляхи управління фізико-механічними та гідрофізичними властивостями композитів, що забезпечують їхню стійкість в умовах обводнення, впливу електричних струмів витоку, агресивних середовищ, зокрема - уведення аніонних ПАР, електролітів з багатовалентними катіонами,

добавок, що обумовлюють утворення додаткових кристалогідратів, високодисперсних мінеральних добавок, підвищення концентрації або зміни pH порового електроліту.

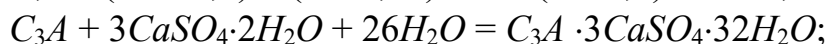
Виконано **термодинамічний аналіз** можливості утворення кристалогідратів із алюмінатних фаз портландцементу за рахунок їхньої взаємодії з солями-електролітами. В результаті аналізу хімічних реакцій та величин їх вільної енергії Гіббса ΔG встановлено, що при гідратації трикальцієвого алюмінату C_3A в присутності солей-електролітів та мінеральних добавок з утворенням кристалогідратів гідросульфо-, гідрокарбо-, гідрохлор-, гідронітро-, гідронітриалюмінатів кальцію типу AFm та Aft -фаз можливі реакції:



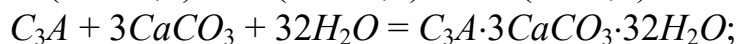
$$\Delta G = -6810,7 - (-3382,3) - (-749,34) - 10 \times (-237,2) = -307,1 \text{ кДж/моль.}$$



$$\Delta G = -6778,0 - (-3382,3) - (-743,49) - 10 \times (-237,2) = -280,2 \text{ кДж/моль.}$$



$$\Delta G = -15205,9 - (-3382,3) - 3 \times (-1798,7) - 26 \times (-237,2) = -260,3 \text{ кДж/моль.}$$



$$\Delta G = -14567,7 - (-3382,3) - 3 \times (-1129,2) - 32 \times (-237,2) = -206,44 \text{ кДж/моль.}$$

Реакції взаємодії C_3A з солями лужних металів з утворенням AFm та Aft -фаз, як і реакції взаємодії гашеного вапна і сульфатів лужних металів з утворенням кальциту можливі, проте одним із продуктів мають луги, тому можливість їх протікання визначатиметься концентрацією іонів лужних металів та величиною pH (чим нижче концентрація Na^+ (K^+) і pH , тим більш імовірна реакція; більш точно умови протікання реакцій можуть бути визначені розрахунком та аналізом термодинамічної рівноваги). Для гіпсових в'язучих встановлено, що взаємодії з мінеральними добавками – мікрокремнеземом і глиноземом, не відбувається.

У результаті **фізико-хімічних досліджень** підтверджено, що введення в портландцемент комплексних хімічних добавок, що містять нітрати, нітроти, хлориди, сульфати, карбонати кальцію та лужних металів, забезпечує в цементному камені утворення карбонатної і хлоридної AFm -фаз, підвищення вмісту портландиту $Ca(OH)_2$, можливо, утворення нітратної AFm -фази та кальциту і підвищення основності гідросилікатів кальцію. У цементному камені, що містить добавку суперпластифікатор полікарбоксилатного типу і прискорювачі твердіння нітрат кальцію і нітрит натрію, відзначається еtringіт $C_3A \times 3CaSO_4 \times 32H_2O$ і тригідронітроалюмінат кальцію $C_3A \times 3Ca(NO_3)_2 \times 32H_2O$. Електронно-мікроскопічними дослідженнями (рис. 7) встановлено, що в результаті гідратації портландцементу з комплексною хімічною добавкою утворюються кристалогідрати, які за морфологічними ознаками можна ідентифікувати як карбонатні, хлоридні, нітратні AFm -фази, портландит, кальцит, які зростають від силікатних поверхонь, що мають негативний поверхневий заряд. Морфологічні ознаки, які дозволяють ідентифікувати кристалогідрати: гексагональні кристали розміром до 2 мкм характерні для портландиту і AFm -фаз гідроалюмінатів C_4AH_{13} і гідросульфоалю-

мінатів кальцію; призматичні кристали розміром до 2 мкм характерні для кальциту; гексагональні пластинки розміром 0,4-3,5 мкм, товщиною 0,1-0,15 мкм, що нашаровуються одна на одну, сфероліти і голки характерні для карбонатної та хлоридної *AFm*-фаз, сульфатної *Aft*-фази.

Отже, для регулювання балансу активної площі поверхонь дисперсних частинок, що мають негативний і позитивний поверхневі заряди, і збільшення щільності та водонепроникності, прискорення твердіння в цементних системах доцільним є використання комплексних хімічних добавок, що включають нітрати, нітрити, хлориди, сульфати, карбонати кальцію та лужних металів.

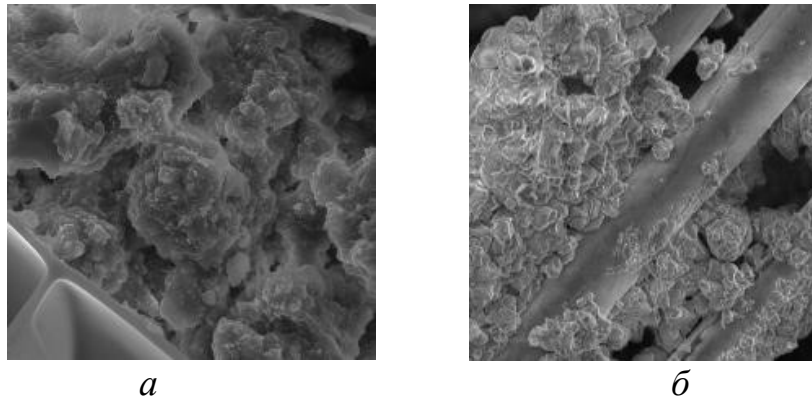


Рис. 7. Формування продуктів гідратації портландцементу з комплексною хімічною добавкою в порах легкого заповнювача (а) і на поверхні армуючих волокон (б). СЕМ, $\times 1000$

Особливості електрогетерогенних контактів кристалогідратів анізотричної форми та їх вплив на структуру штучного каменю

Кристали анізотричної форми, що мають різноманітні поверхневі заряди подовжніх і торцевих граней, визначають особливості структури штучного каменю, які мають бути враховані для забезпечення високої щільності, міцності, водостійкості штучного каменю. Прикладом є гіпс. Спільно з А. С. Єфіменком виконано моделювання та розроблено схеми структури гіпсового каменю з мінеральним наповнювачем і мікронаповнювачами з урахуванням їхніх поверхневих зарядів (рис. 8).

Гіпсовий камінь складають крупні кристали двоводного гіпсу призматичної форми, подовжні грані яких мають позитивний поверхневий заряд. Низька міцність і водостійкість гіпсу обумовлені відсутністю електрогетерогенних і наявністю електрогомогенних контактів між частинками, що утворені слабким міжмолекулярним притяганням між однойменно зарядженими подовжніми гранями кристалів з одним загальним шаром протіонів SO_4^{2-} . Ці контакти в процесі гідратації гіпсу ущільнюються до стану, у якому молекули води являють собою моношари, міцно зв'язані з поверхнями частинок гіпсу. Однак у воді, окрім процесу розчинення, додатково за рахунок розбавлення протіонів осмотичним тиском води відбувається розущільнення електрогомогенних контактів, що і визначає низьку водостійкість гіпсу. Для забезпечення водостійкості, збільшення міцності гіпсових в'язучих запропоновано до їхнього складу вводити дисперсні добавки з негативним поверхневим зарядом.

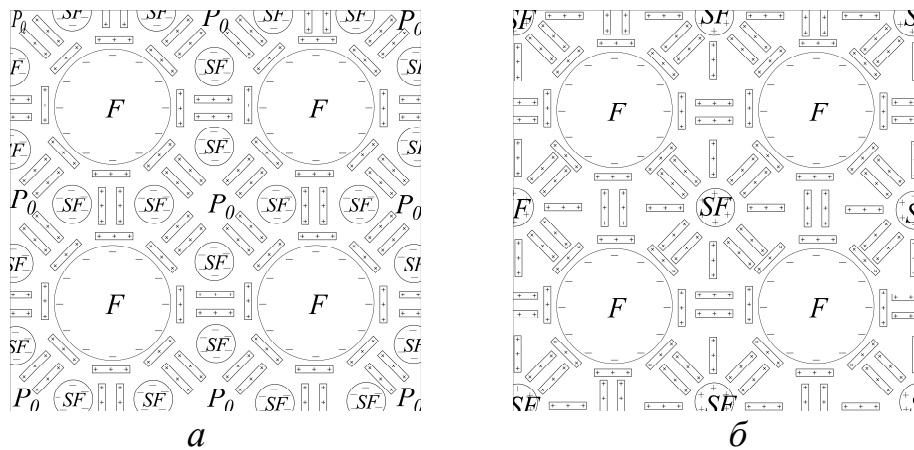


Рис. 8. Умовна схема структури гіпсового каменю G з наповнювачем F:
 а – з мікронаповнювачами з негативним поверхневим зарядом (SF-);
 б – мікронаповнювачами з позитивним поверхневим зарядом (SF+)

У структурі гіпсового каменю з наповнювачем, що має негативний поверхневий заряд, кристали гіпсу-двогідрату прилягають до поверхні зерен наповнювача поздовжніми гранями, утворюючи з ними електрогетерогенні контакти. Як такий наповнювач у роботі розглядається доменний гранульований шлак. У разі раціонального співвідношення кількості гіпсу і шлаку формується досить щільна структура кристалів гіпсу-двогідрату, що прилягають один до одного під великими кутами і утворюють електрогетерогенні контакти. Однак одночасно в центрі зернових порожнеч між зернами шлаку слід очікувати утворення пор (P_0 на рис. 8 а), доступних для води і розчинення кристалів з торців. У разі дефіциту гіпсу-двогідрату пори можуть утворюватися і в шарах між зернами наповнювача, у такому випадку введення мікронаповнювача з негативним поверхневим зарядом (мікрокремнезему) або застосування такого поліфракційного наповнювача призводить до заповнення цих пор їхніми частинками, зниження пористості, підвищення водостійкості. Уведення мікронаповнювача з позитивним поверхневим зарядом (нанодисперсного глинозему) призводить до заповнення його частинками пор P_0 і також підвищення водостійкості.

Адекватність розроблених схем підтверджена результатами електронно-мікроскопічних досліджень (рис. 9). Встановлено, що підвищення водостійкості будівельного гіпсу можливе за рахунок уведення мінерального наповнювача з негативним поверхневим зарядом і мікронаповнювачів з негативним і позитивним поверхневими зарядами. Такі наповнювачі забезпечують формування щільної структури гіпсового каменю як композиційного матеріалу з великою кількістю електрогетерогенних контактів, у якій кристали гіпсу-двогідрату максимально захищені від контакту з водою і розчинення. Таким чином, однакові кристалогідрати анізотричної морфології можуть утворювати електрогетерогенні контакти між торцевими і подовжніми гранями.

Анізотрична форма кристалів впливає на структури, утворені композиціями проникної дії на основі портландцементу і комплексної хімічної добавки, що включає нітрати, хлориди, сульфати, карбонати кальцію та лужних металів. Солі комплексної хімічної добавки здатні проникати (дифундувати) у нещільний бетон з водонепроникністю менше W_2 на глибину 5–10 мм і кольматувати його

поровий простір кристалогідратами AFm - і Aft -фаз на таку саму глибину. Кристалогідрати AFm - і Aft -фаз щільно укладаються в порах (рис. 10, *a*), а також на поверхні волокон, якими армують композити (рис. 10, *б*), саме за рахунок різниці у знаках поверхневих зарядів різних граней.

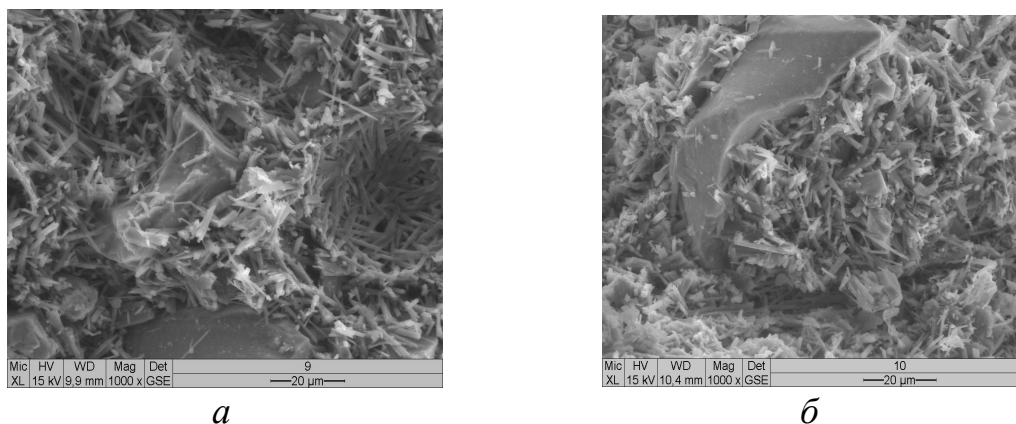


Рис. 9. Електронно-мікроскопічні знімки (ЕМС) поверхні відколу гіпсо-шлакового каменя, $S / (G + S) = 0,4$, $W / (G + S) = 0,36$: *a* – без мікронаповнювача; *б* – з мікронаповнювачем - нанодисперсним глиноземом $MF / (G + S) = 0,02$, збільшення $\times 1000$

На основі даних про електроповерхневі властивості найбільш розповсюджених волокон для дисперсного армування цементних та інших композитів оцінено їхню здатність до утворення електрогетерогенних контактів ЕГК з продуктами гідратації портландцементу і розроблено схеми таких контактів (рис. 10). Адекватність розроблених схем підтверджено результатами фізико-хімічних та електронно-мікроскопічних досліджень (рис. 7).

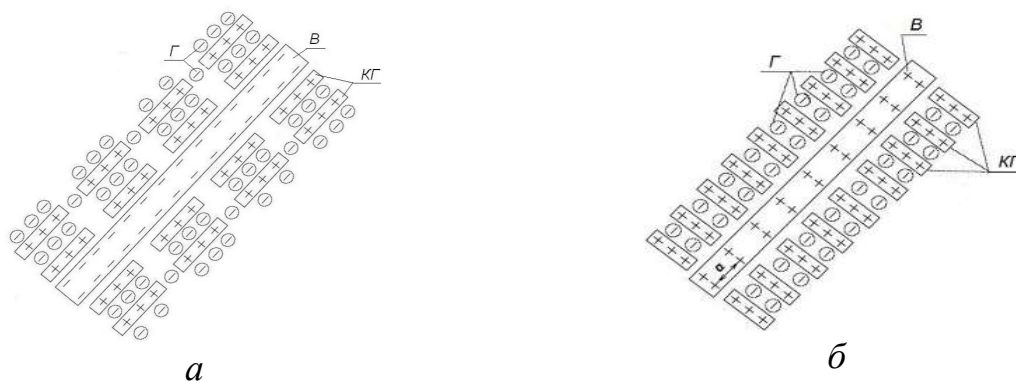


Рис. 10. Схеми зони контакту продуктів гідратації з волокном: *a* – з негативним поверхневим зарядом; *б* – позитивним поверхневим зарядом

Вплив агресивних середовищ на контакти між дисперсними частинками в штучному камені

Досліджено вплив pH середовища на рівноважні ЕПП гідросилікатів кальцію різної основності за рівняннями, аналогічними виразам (2), (4). Результати дослідження наведено на рис. 11.

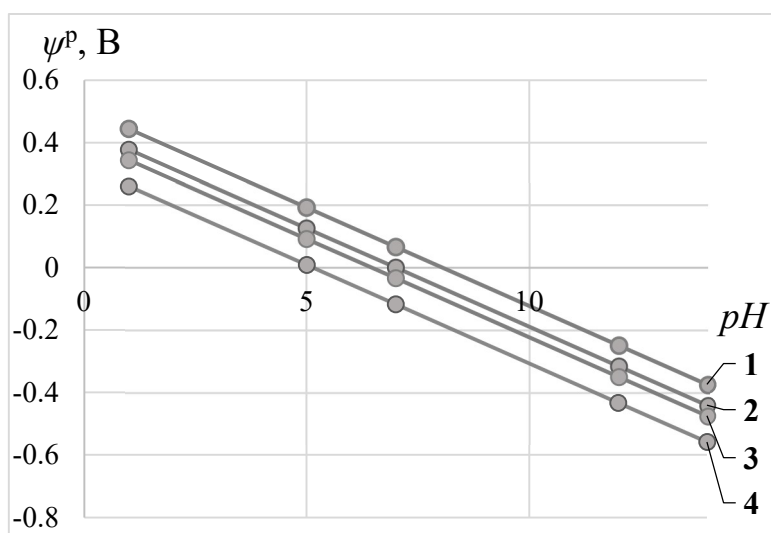


Рис. 11. Залежність рівноважних електроповерхневих потенціалів ψ^p гідросилікатів кальцію від pH середовища: 1 – C-S-H(II) ($C_{(1,5-2)}SH_{(1-4)}$); $C/S=1,75$; 2 – C-S-H(I) ($C_{(0,8-1,5)}SH_{(0,5-2,5)}$); $C/S=1,25$; 3 – ксонотліт ($6CaO \cdot 6SiO_2 \cdot H_2O$); $C/S=1$; 4 – тоберморит ($5CaO \cdot 6SiO_2 \cdot 5H_2O$); $C/S=0,85$

Із рис. 11 видно, що pH середовища визначає величину рівноважного ЕПП мінеральних частинок, а отже, міцність контактів між ними. Отже, на додачу до відомих механізмів хімічної нейтралізації кальціймістких сполук цементного каменю та впливу pH на їхню термодинамічну стійкість встановлено, що додатковим фактором агресивного впливу кислих рідких середовищ є збільшення зі зниженням pH величини ЕПП сполук, що мають негативний поверхневий заряд, до позитивних величин, внаслідок чого їхні електрогетерогенні контакти з позитивно зарядженими частинками перетворюються на електрогомогенні, міцність яких в умовах обводнення суттєво знижується. У цементному камені між гідросилікатами кальцію і кристалами портландиту, гідроалюмінатів та гідросульфалюмінатів кальцію при $pH = 12-13$ існують міцні та стійкі електрогетерогенні контакти. Зі зниженням pH величини рівноважного електроповерхневого потенціалу ψ^p низькоосновних (C-S-H(I), ксонотліту, тобермориту тощо) і високоосновних (C-S-H(II)) гідросилікатах кальцію, що при $pH = 12$ складають $-(0,39-0,32)$ і $-(0,23-0,13)$ В, відповідно, збільшуються і набувають позитивних значень: низькоосновних – при pH менше 6–5, високоосновних – при pH менше 10–8. Отже електрогетерогенні контакти з кристалогідратами перетворюються на електрогомогенні у низькоосновних гідросилікатів кальцію – при pH менше 6–5, у високоосновних – при pH менше 10–8, чим додатково пояснюється відома більш висока корозійна стійкість низькоосновних гідросилікатів кальцію.

Концепція підвищення стійкості в умовах експлуатації матеріалів на основі мінеральних в'язучих шляхом регулювання контактних взаємодій

Проведені дослідження дозволили сформулювати концепцію підвищення стійкості в умовах експлуатації матеріалів на основі мінеральних в'язучих шляхом регулювання контактних взаємодій, яка є розвитком принципу відповідності О.П. Мчедлова-Петросяна і полягає в тому, що при призначенні складу композиційного матеріалу і технологічних впливів на нього для забезпечення його стійкості в умовах експлуатації необхідно забезпечувати не тільки стійкість дисперсної фази (хімічну, термодинамічну), а й максимально можливу кількість контактів між частинками дисперсної фази, стійких до впливів, характерних для

умов експлуатації. Підвищення стійкості в умовах експлуатації матеріалів на основі мінеральних в'язучих згідно з цією концепцією має здійснюватись за таким алгоритмом: Визначення умов експлуатації матеріалу в конструкції, захисному покритті тощо → Визначення експлуатаційних впливів → Визначення потрібних властивостей композиційного матеріалу → Визначення потрібних властивостей дисперсної фази → Вибір матеріалів дисперсної фази (складових композиційного матеріалу) → Визначення типів контактів, які забезпечать потрібні властивості композиційного матеріалу → Вибір способу регулювання контактних взаємодій між дисперсними частинками в структурі композиційного матеріалу → Призначення складу композиційного матеріалу і технологічних впливів на нього.

П'ятий розділ присвячений розробленню композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих із заданими фізико-механічними та гідрофізичними властивостями за рахунок регулювання контактних взаємодій у них. Регулювання контактних взаємодій здійснене на основі закономірностей, встановлених і обґрунтованих у розд. 4. Розроблення складів композиційних матеріалів проводилось залежно від їхнього функціонального призначення та умов експлуатації.

Підвищення водостійкості гіпсових в'язучих і композиційних матеріалів на їхній основі

Встановлено, що підвищення водостійкості будівельного гіпсу можливе за рахунок уведення мінерального наповнювача з негативним поверхневим зарядом і мікронаповнювачів з негативним і позитивним поверхневими зарядами, рис. 14.

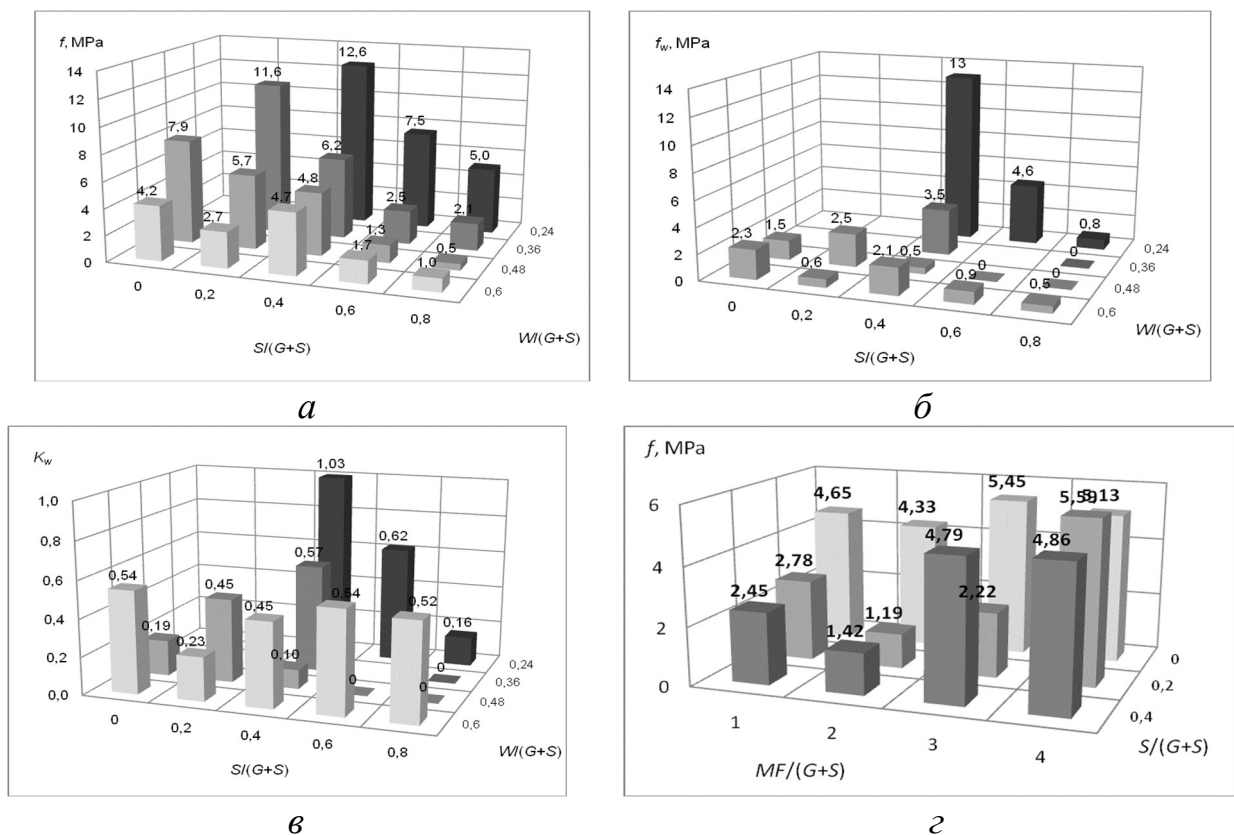


Рис. 14. Залежність міцності на стиск у сухому f (а, г) і водонасиченому f_w (б) стані та коефіцієнта водостійкості K_w (в) від вмісту шлаку $S/(G+S)$, мікронаповнювача $MF/(G+S)$ і водотвердого відношення $W/(G+S)$ гіпсо-шлакового каменю у віці 7 діб

Такі наповнювачі забезпечують формування щільної структури гіпсового каменю як композиційного матеріалу з великою кількістю електрогетерогенних контактів, у якій кристали гіпсу-двогідрату максимально захищені від контакту з водою і розчинення. У результаті експериментальних досліджень (рис. 14) встановлено, що введення мінерального наповнювача з негативним поверхневим зарядом і мікронаповнювачів з негативним і позитивним поверхневими зарядами забезпечує підвищення міцності гіпсового каменю у водонасиченому стані. Підвищення коефіцієнта водостійкості гіпсу відбувається до величини 1, тобто на величину до 0,8 одиниць.

Підвищення фізико-механічних і гідрофізичних властивостей гідроізоляційних композицій проникної дії на основі портландцементу

Рецептури сумішей гідроізоляційних композитів розроблялися відповідно до умов їх нанесення та подальшої експлуатації. Ці суміші призначалися для бетонних поверхонь, що вже зазнали руйнування за рахунок впливу води та, як наслідок, вилуговування. Склади розроблялися на основі портландцементу. Підвищення фізико-механічних і гідрофізичних властивостей цементних композитів, їх зчеплення з пористими мінеральними основами здійснювалось за рахунок спрямованого формування їхньої структури: на мезорівні – за рахунок уведення оптимальної кількості мікронаповнювачів і армуючих волокон, мікро- і субмікрорівні – за рахунок уведення комплексної хімічної добавки, яка забезпечує синтез додаткових кристалогідратів, що утворюють з поверхнями капілярів, пор, тріщин, дисперсних частинок і волокон найбільшу кількість електрогетерогенних контактів.

Встановлено, що введення волокон, мінеральних і хімічних добавок дозволяє істотно покращувати фізико-механічні та гідрофізичні властивості композиційних матеріалів на основі портландцементу. Так, спільне використання лише до 0,2 % за масою скловолокна та дисперсного кальциту забезпечує збільшення міцності композиції на стиск на 38 %, згин – на 76 %, а марки з водонепроникності – від W4 до W10. Міцність на згин композиційного матеріалу з комплексною хімічною добавкою екстремально залежить від вмісту поліефірних волокон з максимумом з 5 % волокон, а водопоглинання залишається незначним при їх вмісті до 5 %. Дані досліджень фізико-механічних і гідрофізичних властивостей гідроізоляційних композиційних матеріалів з комплексною хімічною добавкою (ГК) наведено в табл. 6.

Таблиця 6

Основні фізико-механічні та гідрофізичні властивості гідроізоляційних композиційних матеріалів з комплексною хімічною добавкою

Склад	Показник						
	Міцність, МПа			Водопоглинення, %		Водонепроникність W , атм (МПа)	Морозостійкість F , цикли
	на стиск f	на згин f_t	зчеплення з бетоном f_a	за масою W_m	за об'ємом W_v		
ГК	41,1	12,5	2,36	0,56	1,28	12 (1,2)	200
Контрольний	25,5	7,6	0,74	3,21	7,22	4 (0,4)	100

Забезпечення електропровідності гідроізоляційних композицій проникної дії на основі портландцементу для захисту від струмів витоку та блукаючих струмів

Для розроблення складів захисних електропровідних композицій для ремонту і захисту конструкцій, які зазнають впливу струмів витоку, проведено дослідження впливу електропровідних добавок на фізико-механічні та електрофізичні властивості композиційних матеріалів на портландцементі. Електропровідне покриття в разі його заземлення дренує струми витоку і забезпечує таким чином екранний захист конструкції.

Встановлено, що введення сталевого мікронаповнювача в кількості 30 % маси цементу призводить до збільшення міцності бетону на згин у 2,5 рази, а міцності на стиск в 1,4 рази. Проте використання цього виду наповнювача не забезпечувало істотного зниження електричного опору покриття. Крім того, досить велика швидкість електрокорозійного руйнування сталі несприятливо впливає на довговічність покриття.

Розроблено склад електропровідної композиції на портландцементі з комплексною хімічною добавкою КХД і графітовим наповнювачем. Використання у складі КХД забезпечує проникну дію покриття і ущільнення поверхневого шару бетону. Як електропровідний наповнювач до складу введено графіт марки ГС-1, його раціональний вміст – 10 % – підібрано за результатами визначення фізико-механічних, гідрофізичних та електрофізичних властивостей композита (рис. 15).

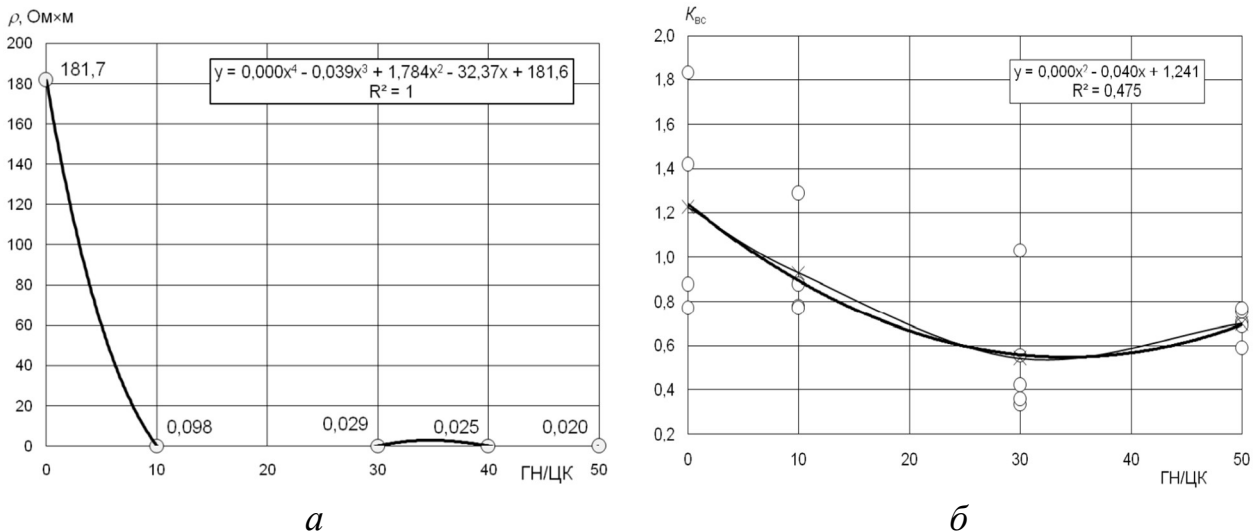


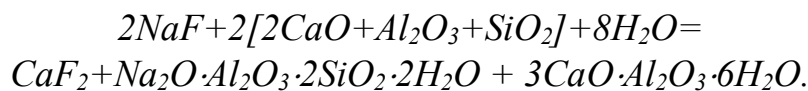
Рис. 15. Залежності питомого електричного опору ρ (а) та коефіцієнта розм'якшення (водостійкості) $K_{вс}$ (б) композиції на основі портландцементу з КХД і графітовим наповнювачем марок ГС-1 і ГЛ-1 від вмісту графітового наповнювача ГН/ЦК, % за масою

За даними досліджень, електричний опір композита лінійно зменшується при збільшенні вмісту електропровідного наповнювача до 10 %, подальше збільшення вмісту наповнювача не призводить до суттєвого зменшення опору. Уведення до складу графітового наповнювача негативно впливає на фізико-механі-

чні властивості композита – знижується міцність і водостійкість. Проте вміст наповнювача в кількості 10 % забезпечує зниження електричного опору на 77 % при достатніх показниках фізико-механічних властивостей.

Забезпечення водостійкості електропровідних силікатних композицій для захисту від струмів витоку та блукаючих струмів

Проведено дослідження з розроблення корозійностійкої шпаклювальної композиції на основі рідкого скла з підвищеними показниками електропровідності. За прототип було обрано відомі кислототривкі кварцово-кремнійфтористі композиції, що містять натрієве рідке скло, кремнійфтористий натрій і кислототривкий висококремнеземистий наповнювач у вигляді кварцового, андезитового або діабазового порошку. Ці композиції є неводостійкими, мають невисоке зчеплення з портландцементним бетоном, що обмежує їх застосування. За рахунок уведення гранульованого доменного шлаку вдалося підвищити водостійкість розчину та міцність його зчеплення з бетоном. Підвищення водостійкості забезпечується утворенням нерозчинних цеолітоподібних алюмосилікатів натрію та кальцію. Відповідно термодинамічні розрахунки виконано для встановлення можливості утворення гідронефеліну $Na_2Si_2H_2$, гідроалюмінату кальцію $Ca_3Al_2H_6$ і фториду кальцію – флюориту CaF_2 за рахунок взаємодії шлаку з фторидом натрію NaF за схемою:



Склад скловидної фази гранульованого шлаку в загальному вигляді для термодинамічних розрахунків відображено формулою – $[2CaO + Al_2O_3 + SiO_2]$.

Утворений фторид кальцію колює поровий простір затверділої композиції, знижуючи її проникність. Крім того, фторид кальцію, підтримуючи свою концентрацію в поровій волозі на рівні своєї розчинності, виявляє бактерицидний вплив на мікроорганізми, що знаходяться в порах бетону і на його поверхні, попереджаючи розвиток грибів, лишайників, моху та інших, які також є руйнівниками бетону та кам'яних конструкцій.

Уведення до складу композита графітового порошку замість діабазового наповнювача дозволяє підвищити електропровідність. Це дозволило отримати не тільки корозійностійку (до хімічної та фізико-хімічної корозії) композицію, а ще й використовувати її як заземлюваний захисний екран для відведення струмів витоку від конструкції, таким чином захищаючи її як від корозійного, так і електрокорозійного руйнування.

Отримання високої ранньої міцності бетону залізобетонних підрейкових основ залізниць

Для розроблення складів бетонів для підрейкових конструкцій, що забезпечують передаточну міцність на ранніх термінах твердіння без тепловологісної обробки, було досліджено вплив вмісту комплексних добавок на фізико-механічні властивості бетонів з портландцементним в'язучим. Для складів бетону для безпропарювальних і малопрогрівних режимів твердіння обрано комплексні добавки у складі суперпластифікаторів нафталінформальдегідного та полікарбоксилатного типу і прискорювачів твердіння нітрату кальцію і нітриту кальцію (натрію). У результаті експериментальних досліджень встановлено кінетику набору

міцності цементного каменю і бетону з добавками суперпластифікаторів і прискорювачів твердіння при різних температурах.

Розроблено оптимальні склади бетону без добавок і з добавками, які забезпечують досягнення передаточної міцності бетону за 8–48 год залежно від режиму роботи підприємства в інтервалі температур твердіння 24–42 °С, тобто з мінімальною тепловологісною обробкою або при природному твердінні:

- для роботи у дві зміни (через 8 год):

а) при температурі твердіння 40–42 °С: з витратами портландцементу 440–450 кг/м³ без добавок; з витратами портландцементу 400 кг/м³ і добавкою ПК 0,4 % маси цементу; з витратами портландцементу 380 кг/м³ і добавкою ПК 0,4 % і НК 1 % маси в'язучого;

б) при температурі твердіння 32–33 °С – з витратами портландцементу 440–450 кг/м³ з добавкою ПК 0,4 % і НК 1 % маси в'язучого;

- для роботи в одну зміну (через 24 год) при температурі твердіння 24 °С: з витратами портландцементу 435–440 кг/м³ без добавок; з витратами портландцементу 380–400 кг/м³ і добавкою ПК 0,4 % і НК 1 % маси в'язучого.

Досліджено вплив різних типів суперпластифікаторів і метакаоліну на міцність бетону після ТВО при T=40–60 °С. За результатами досліджень одержано склади бетонів, які за 8–10 год ТВО при температурах 40–60 °С досягають міцності передачі напруження арматури на бетон (32 МПа) при класі міцності у проектному віці понад В40, марці морозостійкості F200 і водонепроникності W12 і характеризуються зниженими витратами цементу 350–400 кг на 1 м³ бетону.

Підвищення корозійної стійкості бетону органо-мінеральною добавкою високодисперсної крейди

Для розроблення складів корозійностійкого бетону досліджено вплив вмісту добавки високодисперсної крейди на фізико-хімічні та корозійні властивості.

Висока дисперсність крейди та наявність в складі частинок органогенного кальциту, що мають негативний поверхневий заряд за рахунок наявності аморфної форми кремнезему, і дрібних частинок хемогенного кальциту, що мають позитивний поверхневий заряд, обумовлюють її комплексну поліфункціональну дію. Відомий пластифікуючий ефект крейди в цементних системах обумовлений від'ємним поверхневим зарядом органогенних частинок крейди – частинки крейди адсорбуються на позитивно зарядженій поверхні цементних частинок, нейтралізуючи її та перешкоджаючи злипанню. Однак, якщо враховувати наявність на поверхні хемогенних частинок крейди позитивно заряджених ділянок, то за відсутності пластифікуючої добавки може відбуватися злипання частинок та погіршення технологічних властивостей цементної пасти або бетону (збільшення в'язкості, седиментаційне розшаровування суміші). У такому випадку необхідне використання розчинів органічних пластифікаторів - аніонних ПАВ. Отже, ефективність використання крейди, як пластифікуючої добавки обмежується величиною питомої площі поверхні, що має негативний поверхневий заряд, тобто наявністю органогенних карбонатних частинок крейди з поверхнею вкри-

тою аморфною формою кремнезему. Використання ПАР та адсорбція їх на позитивно заряджених ділянках частинок портландцементу та крейди обумовить пептизацію та зниження в'язкості суспензії.

Обґрунтовано положення, що високодисперсна крейда органічного походження за рахунок негативно заряджених поверхонь частинок компенсує втрати структурою штучного каменю електрогетерогенних контактів між гідросилікатним гелем і кристалогідратами під впливом кислих середовищ. Експериментально підтверджено, що використання добавки високодисперсної крейди в кількості 10 % підвищує міцність на стиск на 3,5 %; міцність на розтяг при згині – на 11,4 %; водонепроникність – на 20 %; морозостійкість – на 26 % при відтаненні у воді, а при відтаненні у хлориді натрію – на 28,3 %.

За рахунок зниження кількості гідроксиду кальцію та зв'язування алюмінатної фази у стійкі продукти гідратації добавка високодисперсної крейди в кількості 10-20 % підвищує корозійну стійкість бетону в агресивному середовищі, що містить хлориди, на 18 %, сульфати – на 32 % та іони магнію – на 39 %.

У **шостому розділі** наведено результати експлуатаційних випробувань і впровадження результатів досліджень. Впровадження результатів досліджень дозволило розробити нові високоефективні композиційні силікатні матеріали, застосування яких дозволяє підвищити надійність і довговічність будівельних конструкцій і споруд, у т. ч. транспортних, гідротехнічних, підвищити безпеку руху транспорту. Розроблені матеріали і конструктивно-технологічні рішення застосовано при ремонті конструкцій і споруд залізниць України. Економічний ефект, що обумовлений відновленням експлуатаційних властивостей пошкоджених конструкцій замість їх повної заміни, з урахуванням особистого внеску здобувача складає 2 290 тис. грн.

Розроблено електропровідну композицію проникної дії на основі портландцементу, комплексної хімічної добавки та графітового наповнювача, а також електропровідної шпаклювальної силікатної композиції на основі рідкого скла з графітовим наповнювачем (патенти на винахід №113600 UA та №117194 UA). Розроблено конструктивно-технологічні рішення захисту від електрокорозії конструкцій пасажирських платформ заземленим екраном-покриттям.

Результати досліджень впроваджено в дослідному порядку під час капітального ремонту високої пасажирської платформи на з. п. Комарівка ділянки Харків-Мерефа регіональної філії «Південна залізниця» АТ «Укрзалізниця». У складі ремонту на частині опор улаштовано захист заземленими екранами з електропровідних композицій. Застосовано такі варіанти покриття: 1) екран із композиції на основі портландцементу без графітового наповнювача та без заземлення; 2) екран із композиції на основі портландцементу з графітовим наповнювачем без заземлення; 3) екран із композиції на основі портландцементу з графітовим наповнювачем із заземленням; 4) екран із композиції на основі силікату натрію з графітовим наповнювачем із заземленням. За опорами встановлено спостереження. Економічний ефект для даного об'єкту впровадження склав 722 тис. грн.

За результатами проведених досліджень у співавторстві розроблено та затверджено «Рекомендації із виявлення зон надлишкового заряду, створюваного

струмами витоку з рейкових колій, та захисту від руйнування високих пасажирських платформ у цих зонах», «Рекомендації з усунення тріщин у стінах будівель станційних комплексів» тощо.

Розроблено оптимальні склади бетону без добавок і з добавками, які забезпечують досягнення передаточної міцності бетону за 8–48 год залежно від режиму роботи підприємства в інтервалі температур твердіння 24–42 °С, тобто з мінімальною тепловологісною обробкою або при природному твердінні. Розрахований економічний ефект від впровадження запропонованої технології складає 1 206 тис. грн на рік за умови виробництва 300 тис. шпал. Проведено промислові випробування результатів досліджень на ПрАТ «Гніванський завод спецзалізобетону» і ПрАТ «Коростенський завод залізобетонних шпал», зокрема заводам надано методичку проектування оптимального складу бетону з добавками. Методичку випробувано у промислових умовах, зокрема застосовано заводськими лабораторіями для аналізу і коригування складів бетону залізобетонних шпал з метою ресурсоенергозбереження за умови забезпечення регламентованих властивостей – передаточної і проектної міцності, морозостійкості та водонепроникності бетону і тріщиностійкості шпал. Результати досліджень враховано у проекті ДСТУ Б В.2.6-ХХ:20ХХ. Шпали залізобетонні попередньо напружені для залізниць колії 1520 і 1435 мм. Технічні умови.

Впровадження результатів досліджень забезпечить досягнення економічного ефекту, обумовленого зниженням енергоресурсовитрат на виробництво залізобетонних конструкцій (витрат цементу, тривалості віброуцільнення, тривалості й температури тепловологісної обробки виробів за рахунок використання оптимальних складів бетону та ефективних хімічних добавок), зниженням кількості браку, збільшенням надійності, безпеки експлуатації й довговічності виробів, конструкцій, будівель, споруд, їхніх міжремонтних термінів (за рахунок застосування складів водонепроникного, тріщиностійкого бетону).

Розроблено конструкції підрейкових основ із зазначеного бетону, що забезпечують зниження вібрації, електричних впливів, температурних напружень у рейках і тріщиноутворення в бетоні порівняно з традиційними конструкціями. Результати досліджень впроваджено під час реконструкції підрейкових основ електричного транспорту міст Харкова, Дніпра, Києва. Економічний ефект від впровадження результатів досліджень з урахуванням особистого внеску здобувача складає 926 тис. грн

Розроблено склад гіпсового в'язучого підвищеної водостійкості, коефіцієнт розм'якшення якого перевищує 0,8. В'язуче містить гіпс-півгідрат, шлак доменний гранульований мелений, мінеральну добавку нанодисперсного глинозему або мікрокремнезему, пластифікуючу добавку.

Економічний ефект від упровадження результатів досліджень обумовлений зниженням енергоресурсовитрат на виробництво залізобетонних конструкцій, підвищенням довговічності виробів і конструкцій, збільшенням міжремонтних термінів будівель і споруд.

Результати досліджень використовуються в навчальному процесі з підготовки магістрів за спеціальністю 192 - Будівництво та цивільна інженерія у складі професійно-орієнтованих дисциплін і дипломного проектування.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Розвинуто теоретичні та методологічні основи визначення експлуатаційних впливів в залежності від умов експлуатації матеріалу в конструкції, захисному покритті тощо, які спричиняють корозійне руйнування та інші пошкодження будівельних конструкцій і споруд: агресивних середовищ, внутрішніх факторів, електричних струмів, потенціалів, полів і надлишкових зарядів. В результаті аналізу даних про проникність композиційних матеріалів для агресивних середовищ показано, що хімічно активні речовини проникають у зволожені композити шляхом дифузії крізь їхні капіляри. Проникнення рідин відбувається за закономірностями безнапірної водопроникності під впливом зовнішнього гідростатичного та внутрішніх тисків – капілярного, електрокапілярного, осмотичного, капілярно-осмотичного, внутрішнього тертя (в'язкої течії), потенціалу течії. Всім видам перенесення полярної рідини, хімічно активних речовин, продуктів корозії, а також утворенню тріщин в конструкціях сприяє або повністю їх визначає наявність на них електричних потенціалів і надлишкових зарядів антропогенного або природного походження. Тому для визначення експлуатаційних впливів на матеріал в конструкції запропоновано новий принцип, який полягає у оцінці не тільки навантажень, температурно-вологісного режиму, виду і концентрації агресивних речовин, а й електричних потенціалів на конструкціях.

2. На основі уявлень про електроповерхневі властивості та явища в дисперсних системах, електроповерхневий потенціал дисперсної фази, електричну природу міцності контактів уточнено уявлення щодо формування стійкої в умовах зовнішніх впливів структури штучного каменю, який утворюється внаслідок гідратації мінеральних в'язучих. Встановлено, що стійка в умовах зовнішніх впливів структура штучного каменю формується у разі поєднання міцності, хімічної і термодинамічної стійкості дисперсної фази з максимально можливою кількістю міцних контактів між частинками дисперсної фази, стабільних за впливів, характерних для умов експлуатації, а також за рахунок балансу активної площі поверхонь дисперсних частинок, що мають негативний S^- і позитивний S^+ поверхневі заряди.

3. Отримано емпіричну залежність між величиною абсолютного електроповерхневого потенціалу ψ^0 мінералів, характерних для мінеральних в'язучих, та їх подвійним кутом відбивання рентгенівського випромінювання 2θ , згідно з якою зі збільшенням 2θ ψ^0 зростає за квадратичною залежністю і переходить від негативних до позитивних значень за 2θ близько 35° . Залежність запропоновано використовувати як додатковий незалежний метод визначення ψ^0 мінералів.

4. В результаті досліджень кристалічної структури двогідрату сульфату кальцію, гідросульфо- та гідрокарбоалюмінатів кальцію встановлено, що кристалогідрати анізометричної морфології можуть характеризуватись істотною відмінністю абсолютного ψ^0 та рівноважного ψ^0 електроповерхневого потенціалу різних граней аж до різнойменних значень; розраховано величини ψ^0 і ψ^0 кристалогідратів – продуктів гідратації мінеральних в'язучих: у двогідрату сульфату кальцію ψ^0 бічних граней складає 1,39 В, торцевих граней – (-0,31) В, ψ^0 за $pH =$

7 бічних граней – 0,98 В, торцевих граней – (–0,72) В; у еtringіту ψ^p бічних граней складає 1,17 В, торцевих граней – (–0,85) В, ψ^p за $pH = 12$ бічних граней – 0,46 В, торцевих граней – (–1,56) В. Встановлено, що електроповерхневі властивості карбонатних матеріалів залежать від їхнього генезису – органігенні карбонати, зокрема крейда, мають негативний поверхневий заряд за рахунок наявності на поверхні кремнекислоти, на відміну від хомогенних порід – вапняків, поверхня яких характеризується позитивним потенціалом.

5. З позицій фізико-хімічної механіки мінеральних в'язучих речовин і композиційних матеріалів на їхній основі розвинуто класифікації структур і контактів у них, розраховано енергію взаємодії в контактах, яка зростає від коагуляційних до конденсаційних контактів зі зростанням внеску іон-дипольних і, особливо, іон-іонних взаємодій. Питома енергія взаємодії визначається поверхневою густиною індивідуальних контактів між потенціалвизначальними іонами дисперсних частинок та у підсумку ще й часткою площі контактів у загальному перерізі матеріалу. Встановлено, що міцність штучного каменю залежить від співвідношення різнойменно за-ряджених площ поверхонь у ньому S^-/S^+ . Максимальні показники фізико-механічних і гідрофізичних властивостей штучного каменю мають забезпечуватись шляхом забезпечення потрібного балансу активної площі поверхонь дисперсних частинок з негативним і позитивним поверхневим зарядом. Для кальційсилікатних в'язучих S^-/S^+ має бути в межах 15–20.

6. Розроблено теоретичні та експериментальні основи отримання композиційних матеріалів із заданими властивостями - корозійною та електрокорозійною стійкістю, гідрофізичними та електрофізичними характеристиками, тріщиностійкістю. Проведено термодинамічні розрахунки з метою дослідження синтезу додаткових кристалогідратів, що зв'язують солі-електроліти комплексної хімічної добавки у стабільні продукти гідратації, а також вірогідності взаємодії мінеральних в'язучих із мінеральними добавками. Обґрунтовано підвищення фізико-механічних і гідрофізичних характеристик композицій у результаті введення мінеральних та органічних волокон і мінеральних мікронаповнювачів з урахуванням їхнього поверхневого заряду. Встановлено, що поверхні волокон і частинок мікронаповнювачів є підкладками для зростання кристалогідратів і між ними утворюються електрогетерогенні контакти.

7. Розроблено структурні та математичні моделі композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих з полідисперсними мінеральними наповнювачами з урахуванням їхніх поверхневих зарядів. Адекватність розроблених схем підтверджено результатами фізико-хімічних досліджень. Встановлено, що введення таких наповнювачів забезпечує формування щільної структури композиційного матеріалу з великою кількістю електрогетерогенних контактів, у якій кристалогідрати максимально захищені від контакту з водою і розчинення. Досліджено вплив кислих агресивних середовищ на контакти між дисперсними частинками в штучному камені. Встановлено, що додатковим фактором цього впливу є збільшення зі зниженням pH величини ψ^p мінералів, що мають негативний поверхневий заряд, до позитивних величин. У цементному камені між гідроксилатами кальцію і кристалогідратами портландиту, гідроалюмінатів і гід-

росульфоалюмінатів кальцію за $pH = 12-13$ існують міцні та стійкі електрогетерогенні контакти; зі зниженням pH величини ψ^p низькоосновних $CSH(I)$ і високоосновних $C_2SH(II)$ гідросилікатів кальцію, що за $pH = 12$ складають $-(0,39-0,32)$ і $-(0,23-0,13)$ В, відповідно збільшуються і набувають позитивних значень: $CSH(I)$ – за pH менше 6–5, $C_2SH(II)$ – менше 10–8; отже електрогетерогенні контакти з кристалогідратами перетворюються на електрогомогенні у CSH – за pH менше 6–5, у C_2SH – менше 10–8, чим додатково пояснюється відома більш висока корозійна стійкість низькоосновних гідросилікатів кальцію.

8. На основі результатів досліджень розроблено та впроваджено нові композиційні матеріали різного функціонального призначення із заданими фізико-механічними, гідрофізичними, електрофізичними властивостями: композиційні силікатні матеріали для ремонту, гідроізоляції і захисту конструкцій і споруд, у т.ч. заземлених електропровідних екранів для захисту від електрокорозії; склади бетону з хімічними та мінеральними добавками, що дозволили з мінімальними енерговитратами отримати бетони та вироби підрейкових основ залізниць із заданими ранньою і проектною міцністю, морозостійкістю, водонепроникністю, електричним опором, тріщиностійкістю; склад гіпсового в'язучого підвищеної водостійкості. Впровадження цих матеріалів дозволило підвищити надійність і довговічність будівельних конструкцій і споруд, у т.ч. транспортних, гідротехнічних, покращити показники безпеки руху.

9. Економічний ефект від впровадження результатів досліджень обумовлений зниженням енергоресурсовитрат на виробництво залізобетонних конструкцій, збільшенням довговічності виробів і конструкцій, міжремонтних термінів будівель та споруд і склав понад 5 млн. грн.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Монографії:

1. Плугин А.Н., Плугин А.А., Борзяк О.С. [и др.] Основы теории твердения, прочности, разрушения и долговечности портландцемента, бетона и конструкций из них: Монография в 3 т. Т. 3. Теория прочности, разрушения и долговечности бетона, железобетона и конструкций из них. Под ред. А.Н.Плугина. Киев: Наук. думка, 2012. 288 с. (*Встановлення закономірностей формування стійкої в умовах зовнішніх впливів структури штучного каменю з урахуванням електроповерхневих властивостей компонентів*)

2. Плугін А.А., Костюк Т.О., Процин О.Ю. [та ін.] Гідроізоляційні цементні композити проникної дії. Харків: Колегіум, 2018. 268 с. (*Вивчення впливу мінеральних та хімічних добавок різного складу та будови на підвищення спеціальних властивостей композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих*)

Статті у наукових фахових виданнях України та збірниках наукових праць, що включені до міжнародних наукометричних баз:

3. Плугін А.А., Плугін А.М., Борзяк О.С. [та ін.] Аналіз впливу агресивних дій на конструкції та споруди залізниць: верхня будова колії в залізничних тунелях. *Зб.наук.праць УкрДАЗТ*. 2011. Вип.122. С. 187–201. (*Дослідження та аналіз*

експлуатаційних впливів, які спричиняють корозійне руйнування та інші пошкодження будівельних конструкцій і споруд)

4. Емельянова И.А., Доброходова О.В., Буцкий В.А., Борзяк О.С. Технологические особенности приготовления строительных смесей в трехвальном бетономесителе. *Науковий вісник будівництва*. 2011. Вип.63. С.331-336. *(Вивчення впливу режиму роботи змішувача на поверхневу активацію в'язучих)*

5. Плугин А.Н., Плугин А.А., Подтележникова И.В., Борзяк О.С. Исследование взаимодействий между инден-кумароновой и эпоксидной смолами в защитном составе ЗС-1М. *Зб. наук. праць УкрДАЗТ*. 2011. Вип.125. С. 139–145. *(Обґрунтування використання конструктивно-технологічних рішень з ремонту конструкцій і споруд і захисту їх в умовах експлуатації)*

6. Плугин Ал.А., Борзяк О.С., Дудин А.А. [и др.] Защита металлических и железобетонных сооружений железнодорожного транспорта от электрокоррозии с помощью диодного заземления. *Зб.наук.праць УкрДАЗТ*. 2011. Вип. 127. С. 204-212. *(Розробка конструкції кріплення заземлювача)*

7. Борзяк О.С., Плугин Ал.А., Плугин Д.А. Исследование состава водной среды, контактирующей с бетоном, подвергающимся электрокоррозии. *Вісник НТУ «ХПИ»*. 2011. № 27. С. 138-145. *(Розрахунок концентрації робочих розчинів)*

8. Борзяк О.С. Физико-химические исследования фазового состава цементного камня в бетоне, находившемся под воздействием пульсирующего однонаправленного электрического потенциала. *Зб.наук. праць УкрДАЗТ*. 2012. Вип. 130. С. 71–78.

9. Плугин А.А., Плугин А.Н., Плугин Д.А., Борзяк О.С. [и др.] Механизм электрокоррозии железобетонных конструкций под действием высоковольтного переменного напряжения в контактных проводах. *Комунальне господарство міст*. 2012. Вип.103. С. 13–23. *(Дослідження та аналіз експлуатаційних впливів, які спричиняють корозійне руйнування та інші пошкодження будівельних конструкцій і споруд)*

10. Борзяк О.С. Исследование механизма воздействия токов утечки на конструкции пассажирской платформы. *Зб.наук.праць УкрДАЗТ*. 2012. Вип. 134. С. 271-276.

11. Борзяк О.С. Дослідження бетону монолітних залізобетонних фундаментів при поновленні будівництва. *Науковий вісник будівництва*. 2013. Вип. 71. С. 272–276.

12. Трикоз Л.В., Борзяк О.С. Исследование изменений структуры глиносодержащих материалов методом инфракрасной спектроскопии. *Вісник ОДАБА*. 2013. Вип.52. С. 281–285. *(Виявлення закономірностей впливу кристалічної структури і умов утворення на електроповерхневі властивості матеріалів)*

13. Плугин А.А., Винниченко В.И., Борзяк О.С., Рязанов А.Н. Доломитовый цемент, затворяемый водой. *Зб. наук. праць УкрДАЗТ*. 2014. Вип.143. С. 87–97. *(Вивчення впливу мінеральних та хімічних добавок різного складу та будови на підвищення спеціальних властивостей композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих)*

14.Плугин А.Н., Трикоз Л.В., Плугин А.А., Борзяк О.С. [и др.] Новые движущие силы и причины разрушений материалов, конструкций и сооружений / *Зб. наук. праць УкрДАЗТ*. 2014. Вип.148, Ч.2. С.5–20. (*Дослідження та аналіз експлуатаційних впливів, які спричиняють корозійне руйнування та інші пошкодження будівельних конструкцій і споруд*)

15.Плугин А.Н., Трикоз Л.В., Плугин А.А., Борзяк О.С. [и др.] Новые силы, монолитное строительство и высотные дома *Науковий вісник будівництва*. 2014. №3(77). С. 85–93. (*Дослідження та аналіз експлуатаційних впливів, які спричиняють корозійне руйнування та інші пошкодження будівельних конструкцій і споруд*)

16.Борзяк О.С., Плугин Д.А., Герасименко О.С. [и др.] Воздействие токов утечки на конструкции пассажирских платформ, расположенных вблизи электрифицированных постоянным током участков пути. *Науковий вісник будівництва*. 2014. №1(75). С.80–85. (*Дослідження та аналіз експлуатаційних впливів, які спричиняють корозійне руйнування та інші пошкодження будівельних конструкцій і споруд*)

17.Плугин А.Н., Плугин А.А., Борзяк О.С. Зависимость углов отражения рентгеновского излучения от электроповерхностного потенциала кристаллов. *Зб. наук. праць УкрДУЗТ*. 2015. Вип.155. С. 153–158. (*Обґрунтування можливості використання рентгенівських методів досліджень для визначення електроповерхневого потенціалу мінералів*)

18.Плугін А.А., Фішер Х.-Б., Борзяк О.С. [та ін.] Підвищення міцності та водостійкості гіпсових в'язучих нанодисперстними мінеральними добавками. *Зб. наук. праць УкрДУЗТ*. 2017. Вип.171. С. 37–43. (*Встановлення закономірностей формування стійкої в умовах зовнішніх впливів структури штучного каменю з урахуванням електроповерхневих властивостей компонентів*)

19.Плугін А.А., Борзяк О.С., Єфіменко А.С., Фішер Х.-Б. Вплив мінеральних наповнювачів на процеси структуроутворення гіпсового каменю. *Науковий вісник будівництва*. 2017. №4(90). С. 116–119. (*Встановлення закономірностей формування стійкої в умовах зовнішніх впливів структури штучного каменю з урахуванням електроповерхневих властивостей компонентів*)

20. Борзяк О.С., Чепурна С.М. Гідратація портландцементу в присутності добавки високодисперсної крейди. *Зб. наук. праць УкрДУЗТ*. 2018. Вип. 175. С. 110–117. (*Вивчення впливу мінеральних та хімічних добавок різного складу та будови на підвищення спеціальних властивостей композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих*)

21. Чепурна С.М., Борзяк О.С. Бетони підвищеної водонепроникності з добавкою високодисперсного органічного кальциту (крейди). *Містобудування та територіальне планування*. 2018. № 66. С. 629–637. (*Вивчення впливу мінеральних та хімічних добавок різного складу та будови на підвищення спеціальних властивостей композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих*)

22.Плугін О.А., Касьянов В.В., Борзяк О.С. [та ін.] Вплив структури та компонентів на електрофізичні властивості композицій на основі портландцементу

Науковий вісник будівництва. 2018. №1(91). С. 156–163. (Встановлення закономірностей формування стійкої в умовах зовнішніх впливів структури штучного каменю з урахуванням електроповерхневих властивостей компонентів)

23. Жидкова Т.В., Чепурна С.М., Борзяк О.С. Механізм впливу добавки вискодисперсної крейди на процеси структуроутворення цементного каменю. *Вісник ОДАБА*. 2018. Вип. 72, С. 99–106. (Встановлення закономірностей формування стійкої в умовах зовнішніх впливів структури штучного каменю з урахуванням електроповерхневих властивостей компонентів)

24. Плугин А.Н., Палант Е.В., Плугин Д.А., Плугин Ал.А., Борзяк О.С. Механізм захисних свойств полиуретана и композиций на основе жидкого стекла от электрических и вибрационных воздействий. *Вісник Національного технічного університету «ХПИ»*. 2018. № 35. С. 25–28. (Обґрунтування використання конструктивно-технологічних рішень з ремонту конструкцій і споруд і захисту їх в умовах експлуатації)

25. Борзяк О.С., Дудін О.А., Куценко М.Ю., Познякова В.Г. Розробка заходів по захисту штучних споруд залізничного транспорту від електрокорозії під дією змінного струму витоку і високовольтної напруги. *Зб. наук. праць УкрДУЗТ*. 2018. Вип. 182, С. 28–36. (Обґрунтування використання конструктивно-технологічних рішень з ремонту конструкцій і споруд і захисту їх в умовах експлуатації)

Публікації у міжнародних періодичних виданнях, що включені до міжнародних наукометричних баз:

26. Borziak O., Vandolovskyi S., Chajka V., Perestiuk V., Romanenko O. Effect of microfillers on the concrete structure formation. *MATEC Web Conf.* 2017. V. 116, 01001. (Встановлення закономірностей формування стійкої в умовах зовнішніх впливів структури штучного каменю з урахуванням електроповерхневих властивостей компонентів)

27. Borziak O., Cherpurna S., Zidkova T. Use of a highly dispersed chalk additive for the production of concrete for transport structures. *MATEC Web Conf.* 2018. V. 230, 03003. (Вивчення впливу мінеральних та хімічних добавок різного складу та будови на підвищення спеціальних властивостей композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих)

28. Plugin A.A., Pluhin O.A., Borziak O.S., Kaliuzhna O.V. The Mechanism of a Penetrative Action for Portland Cement-Based Waterproofing Compositions. *Lecture Notes in Civil Engineering*. 2020. V. 47. P. 34–41. (Вивчення впливу мінеральних та хімічних добавок різного складу та будови на підвищення спеціальних властивостей композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих)

29. Cherpurna S., Borziak O., Zubenko S. Concretes, Modified by the Addition of High-Diffused Chalk, for Small Architectural Forms. *Materials Science Forum*. 2019. V. 968. P. 82–88. (Вивчення впливу мінеральних та хімічних добавок різного складу та будови на підвищення спеціальних властивостей композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих)

30. Borziak O.S., Plugin A.A., Cherpurna S.M. The effect of added finely dispersed calcite on the corrosion resistance of cement compositions. *IOP Conf. Series:*

Materials Science and Engineering. 2019. V. 708, 012080. (Вивчення впливу мінеральних та хімічних добавок різного складу та будови на підвищення спеціальних властивостей композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих)

31. Kostyuk T., Vinnichenko V., Plugin A., Borziak O., Iefimenko A. Physicochemical studies of the structure of energy-saving compositions based on slags. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. V. 1021, 012016. (Вивчення впливу мінеральних та хімічних добавок різного складу та будови на підвищення спеціальних властивостей композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих)

32. Plugin A., Borziak O., Pluhin O., Kostuk T., Plugin D. Hydration Products that Provide Water-Repellency for Portland Cement-Based Waterproofing Compositions and Their Identification by Physical and Chemical Methods. *International Scientific Conference EcoComfort and Current Issues of Civil Engineering EcoComfort 2020: Proceedings of EcoComfort*. 2020. P. 328–335. (Вивчення впливу мінеральних та хімічних добавок різного складу та будови на підвищення спеціальних властивостей композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих)

33. Plugin A., Iefimenko A., Borziak O., Gevorkyan E., Pluhin O. Establishing Patterns in the Influence of Micro and Nano-dispersed Mineral Additives on The Water Resistance of Construction Gypsum. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. V. 1/6 (109). P. 22–29. (Встановлення закономірностей формування стійкої в умовах зовнішніх впливів структури штучного каменю з урахуванням електроповерхневих властивостей компонентів)

Патенти:

34. Композиція проникної дії гідроізоляції та захисту від електрокорозії: Пат. 113600 Україна: МПК (2016.01) С04В 28/00 С04В 41/65 (2006.01) С04В 111/90 (2006.01) С04В 111/20 (2006.01) С04В 111/72 (2006.01); заявл. 01.03.2016; опубл. 10.02.2017, Бюл. №3. 4 с. (Виконання патентного пошуку, розроблення складів електропровідних композицій для екранного захисту від електрокорозії, складання опису та формули винаходу)

35. Електропровідна шпаклювальна композиція: Пат. 117194 Україна: МПК С04В 28/26 (2006.01), С04В 41/65 (2006.01), С04В 111/20 (2006.01), С04В 111/26 (2006.01), С04В 111/94 (2006.01); Заявл. 24.03.2017. Опубл. 25.06.2018, Бюл. №12. 3 с. (Виконання патентного пошуку, розроблення складів електропровідних композицій для екранного захисту від електрокорозії, складання опису та формули винаходу)

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

36. Борзяк О.С., Пługін Д.А. Використання методу інфрачервоної спектроскопії при дослідженні будівельних матеріалів. Тези доповідей 76-ї Міжнар. наук.-техн. конфер. (15-17 квітня 2014 р., м. Харків). – Харків: УкрДАЗТ, 2014. С. 259. (Вивчення впливу мінеральних та хімічних добавок різного складу та будови на підвищення спеціальних властивостей композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих)

37. Пługін А.Н., Трикоз Л.В., Пługін А.А. [та ін.] Новые движущие силы и причины разрушений материалов, конструкций и сооружений. Міжнар. наук.-

техн. конф. «Нові технології, обладнання, матеріали в будівництві і на транспорті» (26–28 листопада 2014 р., Харків). Харків: УкрДАЗТ, 2014. С.48. *(Дослідження та аналіз експлуатаційних впливів, які спричиняють корозійне руйнування та інші пошкодження будівельних конструкцій і споруд)*

38. Плугін А.А., Романенко О.В., Калінін О.А., Плугін О.А., Борзяк О.С. Склади бетону з добавками суперпластифікаторами і прискорювачами твердіння для виробництва залізобетонних шпал без пропарювання та їх фізико-хімічні дослідження. Междунар. науч.-практ. конф. «Эффективные технологические решения в строительстве с использованием бетонов нового поколения» (28–29 октября 2015 р., Харьков). Харьков: ХНУСА, 2015. С.39–50. *(Вивчення впливу мінеральних та хімічних добавок різного складу та будови на підвищення спеціальних властивостей композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих)*

39. Борзяк О.С. Залежність кутів відбиття рентгенівського випромінювання від електроповерхневого потенціалу кристалів. 5-а Міжнар. науч.-техн. конф. «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті» (23–24 квітня 2015 р., Харків). Харків: УкрДУЗТ, 2015. С.34.

40. Плугін А.Н., Борзяк О.С., Плугін А.А. Рентгеновские методы исследования строительных материалов: особенности взаимодействия рентгеновского излучения с кристаллами. Між нар. науково-техн. семінар «Модельовання та оптимізація будівельних композитів» (27-28 жовтня 2016 р., Одеса). Одеса: ОДАБА, 2016. С. 105–111. *(Обґрунтування можливості використання рентгенівських методів досліджень для визначення електроповерхневого потенціалу мінералів)*

41. Борзяк О.С., Плугін А.А. Фізико-хімічні дослідження впливу добавок суперпластифікаторів та прискорювачів твердіння на продукти гідратації портландцементу. 78 Міжнар. науч.-техн. конфер. «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті» (26–28 квітня 2016 р., Харків). Харків: УкрДУЗТ, 2016. Вип. 160 (додаток). С. 78. *(Вивчення впливу мінеральних та хімічних добавок різного складу та будови на підвищення спеціальних властивостей композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих)*

42. Плугін А.Н., Борзяк О.С., Плугін А.А. Про природу явищ, на яких ґрунтується спектральний аналіз будівельних матеріалів. 78 Міжнар. науч.-техн. конфер. «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті» (26–28 квітня 2016 р., Харків). Харків: УкрДУЗТ, 2016. Вип. 160 (додаток). С. 78–79. *(Обґрунтування можливості використання рентгенівських методів досліджень для визначення електроповерхневого потенціалу мінералів)*

43. Борзяк О.С., Чайка В.М., Вандоловський С.С. Формування структури дрібнозернистого бетону. VI Міжнар. науч.-техн. конфер. «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті» (19-21 квітня 2017 р., Харків). Харків: УкрДУЗТ, 2017. С. 42–43. *(Встановлення закономірностей формування стійкої в умовах зовнішніх впливів структури штучного каменю з урахуванням електроповерхневих властивостей компонентів)*

44. Єфіменко А.С., Фішер Х.-Б., Матхес К., Борзяк О.С. [та ін.] Шляхи підвищення міцності гіпсових композицій. VI Міжнар. науч.-техн. конфер. «Проблеми

надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті» (19-21 квітня 2017 р., Харків). Харків: УкрДУЗТ, 2017. С.50–51. *(Виявлення закономірностей впливу кристалічної структури і умов утворення на електроповерхневі властивості матеріалів)*

45. Чепурна С.М., Борзяк О.С. Високодисперсна крейда як добавка для бетонів. VI Міжнар. наук.-техн. конфер. «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті» (19-21 квітня 2017 р., Харків). Харків: УкрДУЗТ, 2017. С. 78–79. *(Виявлення закономірностей впливу кристалічної структури і умов утворення на електроповерхневі властивості матеріалів)*

46. Жидкова Т.В., Чепурна С.М., Борзяк О.С. Ресурсоенергозберігаючі бетони з добавкою високодисперсної крейди. VII Міжн. наук.-практ. конф. «Ефективні технології в міському будівництві та господарстві» (17-18 травня 2018 р., Одеса). Одеса: ОДАБА, 2018. С. 164–167. *(Вивчення впливу мінеральних та хімічних добавок різного складу та будови на підвищення спеціальних властивостей композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих)*

47. Cherpurna S.M., Plugin A.A., Borziak O.S. Structure formation of the cement stone in the presence of fine-grained calcite. 20 Internationale Baustofftagung, (12-14 September 2018, Weimar). Weimar: Bauhaus-Universität Weimar, 2018. Band 2. P. 479–485. *(Вивчення впливу мінеральних та хімічних добавок різного складу та будови на підвищення спеціальних властивостей композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих)*

48. Plugin A.A., Fisher H.-B., Borziak O.S., Iefimenko A.S. Increasing the Water-Resistance of Gypsum Materials Using Polydisperse Mineral Additives. 20 Internationale Baustofftagung, (12-14 September 2018, Weimar). Weimar: Bauhaus-Universität Weimar, 2018. Band 2. P. 549–558. *(Встановлення закономірностей формування стійкої в умовах зовнішніх впливів структури штучного каменю з урахуванням електроповерхневих властивостей компонентів)*

49. Борзяк О.С., Чепурна С.М., Жидкова Т.В. [та ін.] Вплив добавки високодисперсної крейди на фізико-механічні властивості бетонів. 7 Міжнар. наук.-техн. конф. «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті» (14-16 листопада 2018 р. Харків). Харків: УкрДУЗТ, 2018. С.172. *(Вивчення впливу мінеральних та хімічних добавок різного складу та будови на підвищення спеціальних властивостей композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих)*

50. Калюжна О.В., Борзяк О.С., Плуґін А.А., Булгаков В.В. Використання потенціометричних методів для оцінки корозійного впливу добавок на сталеву арматуру залізобетонних конструкцій. 7 Міжнар. наук.-техн. конф. «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті» (14-16 листопада 2018 р. Харків). Харків: УкрДУЗТ, 2018. С.186. *(Вивчення впливу мінеральних та хімічних добавок різного складу та будови на підвищення спеціальних властивостей композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих)*

51. Савчук Ю.Ю., Плугін А.А., Лютий В.А., Плугін О.А., Борзяк О.С. Дослідження впливу лужного компоненту на фізико-механічні властивості безклінкерних і малоклінкерних гідроізоляційних композицій. 7 Міжнар. наук.-техн. конф. «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті» (14-16 листопада 2018 р. Харків). Харків: УкрДУЗТ, 2018. С. 211. *(Вивчення впливу мінеральних та хімічних добавок різного складу та будови на підвищення спеціальних властивостей композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих)*

52. Плугін А.А., Бабій А.І., Плугін О.А., Борзяк О.С., Калюжна О.В. Вплив умов зберігання на електропровідність бетону. VI Міжнародна конференція «Актуальні проблеми інженерної механіки» (20-24 травня 2019 р., Одеса). Одеса: ОДАБА, 2019. С. 320–324. *(Дослідження та аналіз експлуатаційних впливів, які спричиняють корозійне руйнування та інші пошкодження будівельних конструкцій і споруд)*

53. Борзяк О.С., Плугін А.А., Чепурна С.М. [та ін.] Вплив добавки високодисперсного кальциту на корозійну стійкість цементних композитів. 8 Міжнар. наук.-техн. конф. «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті» (20-22 листопада 2019 р., Харків). Харків: УкрДУЗТ, 2019. Ч.2. С.137–138. *(Вивчення впливу мінеральних та хімічних добавок різного складу та будови на підвищення спеціальних властивостей композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих)*

54. Трикоз Л.В., Панченко С.В., Бондаренко Д.О., Борзяк О.С., Плугін А.А. Електроповерхневі взаємодії в системі ґрунт-шлак активний мул. 8 Міжнар. наук.-техн. конф. «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті» (20-22 листопада 2019 р., Харків). Харків: УкрДУЗТ, 2019. Ч.2. С.209–210. *(Встановлення закономірностей формування стійкої в умовах зовнішніх впливів структури штучного каменю з урахуванням електроповерхневих властивостей компонентів)*

55. Жигло А.А., Борзяк О.С. Перспективи зниження енерговитрат на виробництво високоміцного гіпсу. Міжнар. наук.-практ. конф. «Тренди та тенденції розвитку будівельної галузі» (18-19 листопада 2020 р., Харків). Харків: ХНУМГ ім. О.М.Бекетова, 2020. С. 72–73. *(Виявлення закономірностей впливу кристалічної структури і умов утворення на електроповерхневі властивості матеріалів)*

56. Костюк Т.О., Вінниченко В.І., Плугін А.А., Борзяк О.С., Єфіменко А.С. Створення ресурсо- та енергозберігаючих композицій важких бетонів на основі шлаків. Міжнар. наук.-техн. конф. «Енергоефективність на транспорті» (18-20 листопада 2020 р. Харків). Харків: УкрДУЗТ, 2020. С. 76–77. *(Вивчення впливу мінеральних та хімічних добавок різного складу та будови на підвищення спеціальних властивостей композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих)*

57. Борзяк О.С., Калюжна О.В., Плугін А.А. Вплив добавок-прискорювачів твердіння на захисні властивості бетону щодо сталевих арматур. VIII Міжнар. наук.-практ. конф. «Ефективні організаційно-технологічні рішення та енергозберігаючі технології в будівництві» (19-20 листопада 2020 р., Харків). Харків:

ХНУБА, 2020. С. 9–10. (Вивчення впливу мінеральних та хімічних добавок різного складу та будови на підвищення спеціальних властивостей композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих)

Додаткові публікації

58. Трикоз Л.В., Борзяк О.С. Исследование изменений структуры глиносодержащих материалов методом рентгенофазового анализа. *Сборник научных трудов SWorld*. 2014. Вып. 2, Том 17. С. 10–17. (Виявлення закономірностей впливу кристалічної структури і умов утворення на електроповерхневі властивості матеріалів)

59. Гасан Ю.Г., Червенко Є.М., Бердник О.В., Борзяк О.С. Вплив поліфункціональної добавки на характер новоутворень та властивості штучного каменю, виготовленого з композиційної гіпсовміщуючої в'язучої речовини. *Будівельні матеріали, виробництво та санітарна техніка*. 2011. Вип. 42. С. 56–62. (Вивчення впливу мінеральних та хімічних добавок різного складу та будови на підвищення спеціальних властивостей композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих)

60. Плугин А.А., Воронин С.В., Борзяк О.С., Ефименко А.С. Повышение водостойкости гипса добавками микронаполнителей. *Науковий вісник будівництва*. 2016. №2(84). С. 239–242. (Виявлення закономірностей впливу кристалічної структури і умов утворення на електроповерхневі властивості матеріалів)

61. Трикоз Л.В., Борзяк О.С., Савчук В.Ю. Дослідження взаємодій компонентів глиновмісних матеріалів методом інфрачервоної спектроскопії. *Зб. наук. праць УкрДУЗТ*. 2017. Вип.171. С. 44–52. (Виявлення закономірностей впливу кристалічної структури і умов утворення на електроповерхневі властивості матеріалів)

62. Плугін Д.А., Плугін А.А., Борзяк О.С., Палант О.В., Савченко О.М. Захист об'єктів транспортної інфраструктури від електричних і вібраційних впливів наземного рейкового транспорту. *Науковий вісник будівництва*. 2017. №4(90). С. 250–254. (Обґрунтування використання конструктивно-технологічних рішень з ремонту конструкцій і споруд і захисту їх в умовах експлуатації)

63. Чепурная С.Н., Плугин А.А., Борзяк О.С. Повышение коррозионной стойкости бетона транспортных сооружений добавкой высокодисперсного кальцита. *Науковий вісник будівництва*. 2018. № 1(91). С. 292–298. (Вивчення впливу мінеральних та хімічних добавок різного складу та будови на підвищення спеціальних властивостей композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих)

64. Savchuk Y., Plugin A., Lyuty V., Pluhin O., Borziak O. Study of influence of the alkaline component on the physico-mechanical properties of the low clinker and clinkerless waterproof compositions. *MATEC Web Conf*. 2018. V. 230, 03018. (Встановлення закономірностей формування стійкої в умовах зовнішніх впливів структури штучного каменю з урахуванням електроповерхневих властивостей компонентів)

65. Pluhin O., Plugin A., D. Plugin, O. Borziak, Dudin O. The effect of structural characteristics on electrical and physical properties of electrically conductive compositions based on mineral binders. *MATEC Web Conf*. 2017. V. 116, 01013. (Встановлення закономірностей формування стійкої в умовах зовнішніх впливів)

структури штучного каменю з урахуванням електроповерхневих властивостей компонентів)

66. Plugin A.A., Plugin D.A., Pluhin O.A., Borziak O.S. The Influence of the Molecular Structure of Polyurethane on Vibro– and Electroinsulation Properties of the Tramway Structures. *Lecture Notes in Civil Engineering*. 2020. V. 47. P. 346–353. (Обґрунтування використання конструктивно-технологічних рішень з ремонту конструкцій і споруд і захисту їх в умовах експлуатації)

67. Plugin A.A., Pluhin O.A., Borziak O.S., Kaliuzhna O.V. The Influence of Storage Conditions on the Electric Conductivity of Concrete. *Materials Science Forum*. 2019. V. 968. P. 50–60. (Дослідження та аналіз експлуатаційних впливів, які спричиняють корозійне руйнування та інші пошкодження будівельних конструкцій і споруд)

68. Trykoz L.V., Panchenko S.V., Bondarenko D.O., Plugin A.A., Borziak O.S. The electric surface interaction in the soil-slag-biological solids system. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2019. V. 708, 012110. (Встановлення закономірностей формування стійкої в умовах зовнішніх впливів структури штучного каменю з урахуванням електроповерхневих властивостей компонентів)

69. Плугін А.А., Плугін А.М., Борзяк О.С. [та ін.] ЦП 0224 Рекомендації із забезпечення тріщиностійкості плит безбаластного мостового полотна. Київ: ЦП УЗ, 2010. 42 с. (Обґрунтування використання конструктивно-технологічних рішень з ремонту конструкцій і споруд і захисту їх в умовах експлуатації)

АНОТАЦІЯ

Борзяк О. С. Регулювання контактних взаємодій для підвищення стійкості в умовах експлуатації матеріалів на основі мінеральних в'язучих. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.23.05 – будівельні матеріали та вироби. – Український державний університет залізничного транспорту, Харків, 2021.

Дисертаційна робота присвячена розробленню теоретичних основ отримання композиційних матеріалів з підвищеними експлуатаційними властивостями на основі мінеральних в'язучих за рахунок спрямованого регулювання контактних взаємодій. Розвинуто основні положення колоїдної хімії та фізико-хімічної механіки, зокрема, удосконалено класифікації структур і контактів у композиційних матеріалах на основі мінеральних в'язучих. Максимальні показники фізико-механічних і гідрофізичних (водостійкість) властивостей композитів досягаються у випадку балансу активних площ поверхонь дисперсних частинок, що мають негативний і позитивний поверхневі заряди. Регулювання площ поверхонь можливе за рахунок уведення комплексних хімічних добавок, що сприяє синтезу додаткових кристалогідратів із заданими поверхневими властивостями, та мінеральних і органічних волокон, мікронаповнювачів. Розроблено та впроваджено нові склади композиційних матеріалів із заданими фізико-механічними і гідрофізичними характеристиками різного функціонального призначення. Економічний ефект від впровадження результатів досліджень обумовлений знижен-

ням енергоресурсовитрат на виробництво залізобетонних конструкцій, збільшенням довговічності виробів і конструкцій, міжремонтних термінів будівель та споруд.

Ключові слова: мінеральні в'язучі, композиційний матеріал, електроповерхневий потенціал, контактні взаємодії, електрогетерогенні контакти, кристалогідрати, мікронаповнювачі

АННОТАЦІЯ

Борзяк О. С. Регулирование контактных взаимодействий для повышения устойчивости в условиях эксплуатации материалов на основе минеральных вяжущих. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.23.05 – строительные материалы и изделия. – Украинский государственный университет железнодорожного транспорта, Харьков, 2021.

Диссертационная работа посвящена разработке теоретических основ получения композиционных материалов с повышенными эксплуатационными свойствами на основе минеральных вяжущих за счет направленного регулирования контактных взаимодействий. Развита основная положения коллоидной химии и физико-химической механики, в частности, усовершенствованы классификации структур и контактов в композиционных материалах на основе минеральных вяжущих. Максимальные показатели физико-механических и гидрофизических (водостойкость) свойств композитов достигаются в случае баланса активных площадей поверхностей дисперсных частиц, имеющих отрицательный и положительный поверхностные заряды. Регулирование площадей поверхностей возможно за счет ввода комплексных химических добавок, что способствует синтезу дополнительных кристаллогидратов с заданными поверхностными свойствами, и минеральных и органических волокон, микронаполнителей. Разработаны и внедрены новые составы композиционных материалов с заданными физико-механическими и гидрофизическими характеристиками различного функционального назначения. Экономический эффект от внедрения результатов исследований обусловлен снижением энергозатрат на производство железобетонных конструкций, увеличением долговечности изделий и конструкций, межремонтных сроков зданий и сооружений.

Ключевые слова: минеральные вяжущие, композиционный материал, электроповерхностный потенциал, контактные взаимодействия, электрогетерогенные контакты, кристаллогидраты, микронаполнители

ABSTRACT

Borziak O. S. Regulation of contact interactions to increase the resistance under operating conditions of materials based on mineral binders. – On the rights of manuscript.

The thesis for Doctor of Technical Sciences degree. Specialty 05.23.05 – Building materials and products. – Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, 2021.

The dissertation is devoted to the development of theoretical foundations for obtaining composite materials with improved operational properties based on mineral binders. Due to the directed regulation of contact interactions in composites, it is possible to increase the durability of structures. In the process of forming the structure of an artificial stone during the hydration of mineral binders, a significant role is played by the electric charges of the surface of binders' particles, products of their hydration, filler grains. The influence of the crystal structure and formation conditions on the surface properties of minerals has been investigated. It has been established that crystal hydrates of anisometric morphology can be characterized by a significant difference in the electrosurface potential of different faces, up to opposite values. The electrosurface potentials of minerals, which are the products of hydration of mineral binders with an anisometric shape, have been calculated. It has been established that the electrosurface properties of carbonate materials depend on their genesis. Organogenic carbonates, in particular chalk, have a negative surface charge due to the presence of silicic acid on the surface, in contrast to chemogenic calcite, the surface of which is characterized by a positive potential. The main provisions of colloidal chemistry and physicochemical mechanics of mineral binders and composite materials based on them have been developed. Classification of structures and contacts in materials based on mineral binders have been improved. Using the example of a cement stone, the interaction energy was calculated for each type of contact. The energies per chain between potential-determining ions are calculated. The interaction energy increases from coagulation contacts to condensation contacts as the contribution to the total interaction energy of ion-dipole and ion-ion interactions increases. The specific interaction energy per unit contact area is determined by the surface density of individual contacts between potential-determining ions and the fraction of the contact area in the total cross section of the material. It has been established that the strength of an artificial stone depends on the ratio of oppositely charged surfaces in it. The regulation of the physicochemical and hydrophysical properties of an artificial stone based on mineral binders is possible provided that the required balance of active areas of the surface of dispersed particles with negative and positive surface charges is ensured.

An increase in the hydrophysical and physical and mechanical characteristics, crack resistance, and corrosion resistance of composites based on mineral binders is possible due to the introduction of complex chemical additives that promote the synthesis of additional crystalline hydrates with specified surface properties and mineral microfillers. Thermodynamic calculations were carried out in order to study the synthesis of additional crystal hydrates, as well as the probability of the interaction of mineral binders with mineral additives. An increase in the physicochemical and hydrophysical characteristics of the compositions due to the introduction of mineral and

organic fibers and mineral microfillers, taking into account their surface charge, has been substantiated. It was found that the surfaces of fibers and particles of microfillers are substrates for the growth of crystal hydrates, and electroheterogeneous contacts are formed between them. Structural and mathematical models of composite materials based on mineral binders with polydisperse mineral fillers, taking into account their surface charges, have been developed. The adequacy of the developed schemes is confirmed by the results of physicochemical studies. It was found that the introduction of such fillers ensures the formation of a dense structure of a composite material with a large number of electroheterogeneous contacts, in which crystal hydrates are maximally protected from contact with water and dissolution. The influence of aggressive media on contacts between dispersed particles in artificial stone is investigated. It has been established that an additional factor of aggressive action of acidic liquid media is an increase with a decrease in pH in the magnitude of the electrosurface potential of compounds with a negative surface charge to positive values.

Based on the results of the research, new compositions of composite materials with specified physical, mechanical and hydrophysical characteristics for various functional purposes have been developed and introduced: - composite silicate materials for repair, waterproofing and protection of structures and structures, including electrically conductive screens for protection against electrocorrosion; - compositions with chemical and mineral additives, which made it possible with minimal energy consumption to obtain concretes and products of under-rail foundations of railways with given early and design strength, frost resistance, water resistance, electrical resistance, crack resistance; - the composition of the gypsum binder of increased water resistance. The economic effect from the implementation of research results is due to a decrease in energy resources costs for the production of reinforced concrete structures, an increase in the durability of products and structures, and the turnaround time of buildings and structures.

Key words: mineral binders, composite material, electrosurface potential, contact interactions, electroheterogenic contacts, crystal hydrates, microfillers

Борзяк Ольга Сергіївна

**РЕГУЛЮВАННЯ КОНТАКТНИХ ВЗАЄМОДІЙ
ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ В УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ
МАТЕРІАЛІВ НА ОСНОВІ МІНЕРАЛЬНИХ В'ЯЖУЧИХ**

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Відповідальний за випуск
Партала Н.М.

Підписано до друку 15.11.2021 р.
Формат 60 x 84 1/16. Папір офсетний.
Друк на різнографі. Умовн. друк. арк. 1,9. Тираж 150 прим. Зам. № 15/11
